

ANDRE DAUPHINE

LES PRECIPITATIONS DANS LES MIDIS FRANÇAIS

ETUDE DE CLIMATOLOGIE INDUCTIVE

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE NICE

— LE 18 OCTOBRE 1975 —

ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1976

COMPOSITION DU JURY

M.J. BASSET-TERRUSSE, *Ingénieur Météorologie à Nice,*
M.P. BIROT, *Professeur de géographie à la Sorbonne,*
M. ESTIENNE, *Professeur de géographie à Clermont-Ferrand,*
M.H. ISNARD, *Professeur de géographie à Nice,*
M.J. MIEGE, *Professeur de géographie à Nice,*
M.P. PAGNEY, *Professeur de géographie à Dijon,*
M.CH.P. PEGUY, *Directeur de recherche au CNRS à Grenoble.*

ANDRE DAUPHINE

LES PRECIPITATIONS DANS LES MIDIS FRANÇAIS

ETUDE DE CLIMATOLOGIE INDUCTIVE

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE NICE

— LE 18 OCTOBRE 1975 —

ATELIER

REPRODUCTION DES THESES

UNIVERSITE LILLE III

LILLE

DIFFUSION

LIBRAIRIE HONORE CHAMPION

7, QUAI MALAQUAIS

PARIS

1976



La loi du 11 mars n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite» (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

ISBN 2-252-01690-6

© André DAUPHINE, 1976.

Cette étude de climatologie a pu être menée à son terme grâce à de nombreux concours scientifiques et encouragements, sans cesse renouvelés.

Nous remercions tout particulièrement Monsieur le Professeur Miège qui nous a "sauvé" des brumes et des froidures du nord-est, et a confié un poste d'Assistant à un jeune géographe ayant fait un stage très bref dans l'enseignement secondaire. Il a par la suite encouragé toutes nos recherches de climatologie.

Au laboratoire Raoul Blanchard, nous avons bénéficié de concours précieux. Monsieur le Professeur Isnard nous a permis de redresser quelques erreurs, et surtout de préciser notre pensée. Monsieur le Dessinateur Ottavi, qui a retracé toutes les figures et schémas, et Monsieur Martin conseiller éclairé pour les cartes finales nous ont fait gagné un temps précieux.

A l'extérieur, un rapide survol de cet ouvrage montrera au lecteur tout ce qui est dû à Monsieur le Professeur Péguy. Un stage d'initiation aux techniques statistiques, suivi à Grenoble sous sa direction, fut à l'origine de notre formation mathématique. La naissance et l'essor du groupe Dupont de géographie quantitative a contribué à nous perfectionner en analyse quantitative; nous remercions tous les membres de ce groupe. Pour l'analyse synoptique, les contacts oraux et écrits ont été nombreux avec des climatologues français, notamment MM. Birot, Pagny et Mounier; leurs remarques ont permis d'approfondir des thèmes délaissés a priori.

L'ampleur des données était telle, que seul l'ordinateur pouvait les traiter. Notre reconnaissance est acquise à Mme Jan, programmeuse de la CUMFID qui a élaboré les premiers programmes, puis aménagé les programmes d'analyse multidimensionnelle. Avant de traiter ces données, la récolte fut facilitée par les Météorologues.

Nous sommes particulièrement redevables à MM. Welsch et Frasse, chefs des services régionaux du sud-ouest et du sud-est. Les météorologues du centre de Nice, malgré des compressions de personnel, ont toujours accepté de perdre un temps précieux pour guider nos fouilles; par leurs conseils de prudence ils nous ont permis d'éviter de nombreuses erreurs. A MM. Florent et Cauchard directeurs du centre, M. Ancelin et surtout M. Basset-Terrusse nous adressons nos remerciements très cordiaux.

NB : Cette thèse de recherche a un caractère méthodique prononcé; le lecteur uniquement soucieux de résultats se reportera à la conclusion partielle après les deux premières parties, aux chapitres douze et quatorze.

I N T R O D U C T I O N

Les Midis français ont été l'objet de multiples recherches climatologiques, et il pouvait paraître périlleux d'entreprendre une thèse, travail de longue haleine, sur un sujet sinon simple du moins très étudié, mais la climatologie, comme toutes les sciences, progresse et des remises en question sont à effectuer périodiquement.

Cette introduction méthodologique est volontairement développée, car les progrès d'une science ne dépendent pas de l'élargissement de son objet, mais du raffinement de ses méthodes, et de ses techniques. Depuis des siècles, l'objet de la physique ou de la chimie a peu changé, mais des progrès énormes ont été accomplis. Le chercheur est donc toujours obligé de s'interroger sur les méthodes en vigueur, leur valeur, interrogation polémique qui explique le ton de cette introduction. Les "dernières" réflexions méthodologiques générales consacrées à la climatologie sont, en France, l'oeuvre de P. Pedelaborde (1) (2). D'autres apports ont été présentés par divers auteurs, notamment P. Pagney et Ch. P. Peguy (3).

La climatologie est une science, fait reconnu depuis longtemps même si : "au point de vue historique, il n'est guère possible de préciser à partir de quelle époque la science que nous appelons de nos jours climatologie s'est dégagée nettement de l'ensemble des con-

- (1) P. Pedelaborde, Le climat du Bassin Parisien (60).
P. Pedelaborde, Introduction à l'étude scientifique
du climat (61).
- (2) Le deuxième nombre entre parenthèse renvoie à la
bibliographie donnée en fin d'ouvrage.
- (3) P. Pagney et Ch. P. Peguy, Climatologie = deux
perspectives (20).

naissances météorologiques..." (4). On a ainsi rédigé une "introduction à l'étude scientifique du climat" (5).

I. AXIOMES SCIENTIFIQUES ET CLIMATOLOGIE

Si la climatologie est une science, elle obéit aux trois axiomes suivants :

- Une science se définit par un objet ou projet, par une ou plusieurs méthodes, et par des techniques diverses. Ce premier axiome guide le plan de cette introduction.

- Une science passe par les quatre phases suivantes : empirique, inductive, théorique et enfin axiomatique. Le passage d'une phase à la suivante constitue un progrès scientifique, souvent une rupture car l'évolution des sciences est discontinue. Cette thèse constitue un essai de climatologie inductive.

- Toute oeuvre scientifique doit être logique, objective, explicative et enfin prédictive.

Une activité intellectuelle n'obéissant pas à ces trois axiomes, n'est pas scientifique; l'originalité d'une science dépend de son objet, ses méthodes, ses techniques (axiome 1), de son degré d'avancement (axiome 2), mais l'axiome trois doit être vérifié pleinement.

A la lumière du dernier axiome, l'élan vers la climatologie synoptique ne constitue pas obligatoirement un progrès scientifique. Toute oeuvre scientifique doit être logique; toutes les lois de logique ne sont pas définies et expliquées dans cet ouvrage, mais la non-contradiction est une règle impérative, quelle que

(4) H. Grisollet, B. Guilmet et R. Arlery, Climatologie, méthodes et pratiques (54).

(5) P. Pedelaborde, Introduction à l'étude scientifique du climat (61).

soit le type de logique admise, binaire ou non. Un artiste peut être illogique, voie interdite à un scientifique. Des contradictions s'observent en climatologie synoptique comme en climatologie séparative, témoin du non respect de ce critère logique.

L'objectivité est un problème complexe. Est objectif, ce qui identique pour tous, peut être transmis. La transmission par le langage mathématique, dépersonnalisé, est plus objective qu'une transmission littéraire, et on comprend que "c'est un lieu commun que de dire que la science porte sur la quantité et s'exerce au moyen de la mesure" (6), mais objectivité et quantification ne sont pas synonymes; la quantification est objective, mais on peut atteindre l'objectivité par d'autres voies, comme la formulation axiomatique. Cependant la climatologie synoptique, ni quantitative ni axiomatique, n'est pas totalement objective car le type de temps est un concept qualitatif (7). Dans cette thèse, la quantification est une soumission volontaire au principe d'objectivité.

Les problèmes relatifs à l'explication, ardu, sont analysés ultérieurement. Pour terminer ce premier banc d'essai constitué par l'axiome trois, constatons l'absence de prévision dans les ouvrages de climatologie synoptique. Les schémas qui visualisent des données séparatives sont souvent prédictifs, et le lecteur attentif peut en reconnaître, joints à ce texte.

Pour de nombreux géographes ou climatologues, la prédiction n'est pas du ressort de leur science : "tout géographe devrait d'ailleurs prêter serment de ne

(6) J. Ullmo, La pensée scientifique moderne (26).

(7) La climatologie synoptique classique est partiellement objective, car elle repose sur des lois et modèles physiques quantifiés dont on appréciera ultérieurement la validité.

jamais employer le futur déductif" (8). Certes, après une période où la prévision était synonyme de science, S. Toulmin refuse d'admettre que "les mérites d'une théorie scientifique sont proportionnels au nombre de prédictions justes qu'elle implique" (9), mais néanmoins, le critère prédiction permet de qualifier une étude scientifique; la prédiction est une condition nécessaire mais non suffisante de toute activité scientifique.

Les climatologues estiment que la prédiction est une activité essentielle du météorologue, mais ET. Stringer répond : "l'explication et la prédiction des schémas de temps instantané constituent le travail des météorologues, l'explication et la prédiction du temps moyen étant celui des climatologues" (10). Quelles que soient les ambiguïtés dissimulées sous le terme temps moyen, cette distinction est logique.

La climatologie synoptique classique correspond à la première phase de toute science, elle est empirique. Deux réserves cependant : cette conclusion est partielle, tant que le critère compréhension-explication n'est pas examiné; d'autre part, cela ne constitue pas la condamnation d'une science, mais indique sa phase d'avancement.

II. PROJETS ET SCIENCES CLIMATOLOGIQUES

A. DEFINITIONS

La climatologie, science carrefour, peut être représentée par le langage de la théorie des ensembles; elle correspond à l'intersection des deux ensembles, la

(8) A. Meynier, Histoire de la pensée géographique en France (19).

(9) S. Toulmin, L'explication scientifique (24).

(10) ET. Stringer, Foundations of climatology (74).

météorologie et la géographie, soit :

$$\text{climatologie} = \text{météorologie} \cap \text{géographie}$$

Divers auteurs précisent ce partage; pour ET. Stringer, la climatologie : "est une science-précisée-ment une science appliquée- dont les méthodes sont strictement météorologiques, mais dont les projets et les résultats sont géographiques" (11). Un débat peut s'ouvrir à propos de ce partage, mais la climatologie est indéniablement une science-carrefour. La définition de la géographie retenue est celle de J. Beaujeu-Garnier (12) : morphologie, climatologie... sont des sciences complémentaires. En retenant une définition plus large, aucune différence fondamentale n'apparaît.

La climatologie, intersection de deux ensembles, est elle-même un ensemble qui peut être partitionné à partir de multiples critères; dans cette première partie, le critère projet conduit à distinguer la climatologie physique ou fondamentale, et la géoclimatologie. La climatologie physique a pour projet le climat qui "n'est rien d'autre qu'un phénomène physique" (13), tandis que la géoclimatologie étudie les relations entre le climat et d'autres éléments de la géographie, par exemple l'agriculture, les activités de transport, etc.

Cette distinction a donné lieu à une querelle scientifique dans les années 1950. La bioclimatologie, simple sous-ensemble de la géoclimatologie, fut combattue au nom du finalisme et de l'anthropocentrisme; la démonstration n'est pas convaincante.

Qu'est donc le finalisme ? Conception philosophique, primitive et magique, il attribue des buts à la nature. Il est rejeté dans les sciences dites naturelles

(11) ET. Stringer, Foundations of climatology (74).

(12) J. Beaujeu-Garnier, La géographie : méthodes et perspectives (3).

(13) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

dès le 17^{ème} siècle par Descartes. En s'insurgeant contre le fait : "il est bien évident que la recherche orientée vers un but fixé à l'avance ne retiendra consciemment ou non, qu'une certaine quantité de caractères" (14), on s'élève non pas contre le finalisme, mais contre la finalité; or, une recherche sans finalité est impossible, même en climatologie. La thèse de JP Besancenot, étude de bioclimatologie, a une finalité, mais le lecteur cherche en vain une trace de finalisme (15). La climatologie physique et la géoclimatologie, ont toutes deux une finalité, et toutes deux peuvent être ou non empreintes de finalisme. Le finalisme n'est pas le propre d'une science, mais la caractéristique d'une recherche pré-scientifique.

La critique d'anthropocentrisme porte sur les travaux d'Hutington. L'anthropocentrisme considérant l'homme comme le centre de l'univers, n'est pas systématiquement anti-scientifique, comme le démontre l'histoire de la science physique.

En conclusion, le climatologue, homme de science, doit réfuter le finalisme et le déterminisme, mais il est regrettable de rejeter la géoclimatologie au nom de la finalité, car toute recherche à un projet. D'autre part, si des chercheurs sont finalistes et déterministes, leur science n'est pas condamnable pour autant; rien n'oblige leurs successeurs à s'adonner au finalisme ou au déterminisme.

B. LE PROJET DE CETTE THESE

Cette thèse a pour projet l'étude fondamentale des précipitations dans les Midis français, projet de climatologie physique. Aucun bilan de géoclimatologie n'est

(14) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

(15) JP. Besancenot, Recherches de bioclimatologie humaine dans les petites Antilles et en façade Guyano-Amazonienne (36).

établi en aval de ces analyses, acte volontaire, mais qui n'interdit pas de futures recherches en bioclimatologie. Dans de nombreux travaux, des climatologues montrent les conséquences du climat sur les faits physiques ou humains et cette démarche n'est pas condamnable par son projet.

1. Les hypothèses premières

La mise en avant du réel est un acte classique et on a insisté sur ce caractère pour démontrer la supériorité de la "méthode" synthétique : "nous avons interrogé, non pas les théories, mais les faits quotidiens", ou "parce qu'elle préfère les abstractions à la réalité des temps, parce qu'elle ignore le dynamisme incessant de l'atmosphère, la méthode séparative constitue donc un outil très imparfait de l'étude du climat", et puis encore "c'est la totalité des états vrais de l'atmosphère, l'ensemble des types de temps (Witterungen) qui représente le climat et non les moyennes obtenues à partir des éléments de la combinaison vivante" (16). Quels que soient les "mérites" de la climatologie synthétique, le réalisme est un mythe.

Cette prise de position n'est pas une provocation; "il n'y a pas de faits bruts comme l'ont cru les positivistes, mais tout fait est porteur d'une théorie" enseigne A. Virieux Reymond (17). G. Bachelard écrit plus clairement : "La connaissance spontanée du réel est anti-scientifique" (18). J. Ullmo est plus expéditif : "Le terrain n'a été déblayé pour le progrès scientifique qu'après que le réalisme ancien ait été exorcisé" (19), mais la palme revient sans aucun doute à P. Valéry : "Le génie de Newton a consisté à dire que la lu-

(16) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

(17) A. Virieux Reymond, Introduction à l'épistémologie (28).

(18) G. Bachelard, Le nouvel esprit scientifique (2).

(19) J. Ullmo, La pensée scientifique moderne (26).

ne tombe, alors que tout le monde voit bien qu'elle ne tombe pas" ou à E. Le Roy plus succinct : "Le fait est fait" (20).

On peut certes estimer que ces citations convergentes ne concernent pas la climatologie, science particulière; mais qu'observe le climatologue, est-ce le monde réel ? La théorie de la relativité générale admet que le monde réel est formé d'un constituant unique, l'espace-temps, un milieu continu; or, le monde appréhendé par les sens humains est discontinu. Si la théorie de la relativité générale est erronée, et si le monde connu est en fait le monde réel, le monde géographique est cependant toujours filtré.

Les sens sont un premier filtre; même s'ils ne sont pas déficients, des expériences très simples démontrent leurs erreurs; la figure 1. 2 présentée dans l'ouvrage de R. Abler est surprenante (21); deux segments parfaitement droits, sont assimilés à deux courbes. Les sens sont, en outre, incomplets. Peut-on voir la différence entre un climat froid de montagne et un climat froid subpolaire ? Si les sens étaient parfaits, l'homme n'aurait pas éprouvé le besoin de construire des instruments pour les suppléer, comme le microscope électronique; un thermomètre est un schéma abstrait, rationnel, une "idée" concrétisée.

Le second filtre est celui des idées. Il est impossible, de tout observer; le climatologue qui délimite un objet d'observation, isole une partie du réel, et procède à une rationalisation, car il isole toujours à partir d'idées, d'hypothèses. Observer est différent de voir ou de regarder, c'est porter son attention : au simple mécanisme visuel s'ajoute toujours une idée. On

(20) E. Le Roy, Un positivisme nouveau (18).

(21) R. Abler, JS Adams, P. Gould, Spatial organization (1).

observe avec sa culture, pour bien voir il faut savoir, et le géographe naïf devant le réel n'existe pas. Toute observation n'est jamais neutre, elle suppose des hypothèses implicites ou explicites. L'observation n'est donc pas une démarche réaliste, mais rationnelle.

Le dernier filtre, la transcription, donne une nouvelle forme, toujours symbolique d'un phénomène observé. Une page de climatologie, ou une description orale est toujours abstraite. Le langage est pauvre, un mot est un concept qui ne désigne pas un objet, mais une classe d'objet; le langage, catégorisant, représente toujours une généralisation; les termes averses, orages définissent des classes de faits, et non pas un fait réel; un type de temps n'est pas plus réel qu'une moyenne arithmétique, ni plus vrai; ces deux termes sont deux concepts; un type de temps est un idéal-type. En fait, seul le temps est une "réalité" ressentie quotidiennement, le climat est une abstraction.

Partir du réel, n'est pas seulement impossible, mais relève d'une ambition très méprisante. Il est difficile de partager toutes les idées émises par les climatologues, mais il est choquant d'ignorer leurs travaux : "Les nouvelles découvertes scientifiques ne nient pas purement et simplement celles qui les ont précédées, elles les nient en tant que résultat dernier" (22).

Une thèse de climatologie scientifique est donc une oeuvre rationnelle, une hypothèse démontrée, ou un choix raisonné entre plusieurs hypothèses. Deux séries d'hypothèses et un champ de recherche à peine effleuré, que l'introduction de nouvelles techniques doit permettre de défricher, sont à l'origine de cet ouvrage.

(22) A. Virieux Reymond, Introduction à l'épistémologie (28).

Les premières hypothèses portent sur la durée des précipitations dans les Midis, plus particulièrement la durée des averses dans les régions méditerranéennes. Pendant longtemps, à la suite des travaux d'A. Angot et d'E. Bénévent, les géographes ont admis la violence et la brièveté des précipitations (23); tous ont insisté sur le retour rapide d'un ciel serein. Au cours de la dernière décennie, JE. Hermitte et G. Viers (24) s'élèvent contre ces idées, et le second écrit à propos des pluies méditerranéennes : "ces averses sont fortes et durables, et non pas violentes mais courtes".

De telles affirmations sont des hypothèses, en l'absence de vérification scientifique. Quelle que soit la clarté et la netteté d'une affirmation, elle ne doit pas être assimilée à une loi, avant d'être démontrée. Autrefois, aucune donnée ne permettait de trancher; depuis une dizaine d'années, les diagrammes des pluviographes enregistreurs comblent cette lacune. Le premier chapitre apporte une réponse à ce premier problème.

Le second groupe d'hypothèses a pour objet l'intensité des précipitations. Tous les auteurs décrivent la brutalité des averses méditerranéennes qui ravagent les cultures et provoquent des inondations dévastatrices. Un bref article de CH. P. Peguy et J. Mounier (25) permet de douter partiellement de cette hypothèse, car les précipitations les plus fréquentes sont les précipitations les plus faibles, affirmation surprenante mais démontrée par l'analyse fréquentielle. Cependant,

- (23) A. Angot, Le régime pluviométrique de la France (81)
E. Benevent, Le climat des Alpes françaises (84).
- (24) JE. Hermitte, Contribution à l'étude de la pluviosité de l'automne sur les rivages languedociens, provençaux et ligures (107).
G. Viers, Eléments de climatologie (80).
- (25) CH. P. Peguy et J. Mounier, Une méthode de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des précipitations tombées en vingt quatre heures (66).

cette démonstration est limitée aux précipitations journalières, relevées en vingt quatre heures : une pluie de 10 mm, qui dure vingt quatre heures est une pluie fine, mais la même hauteur recueillie en quelques minutes correspond à une intensité record. Pour obtenir des résultats précis, il faut dépouiller les diagrammes pluviométriques, et chiffrer toutes les intensités. Le second chapitre vérifie presque totalement ces hypothèses.

La variabilité des précipitations est un champ de recherche à peine effleuré; dans de nombreux ouvrages sont reprises les critiques d'E. Benevent : "La nature semble se complaire à bouleverser à chaque instant les moyennes les plus rigoureusement établies. A ne vouloir insister que sur les moyennes, comme l'on fait jusqu'ici la plupart des météorologistes on ferme volontairement les yeux sur une partie essentielle de la vérité" (26). Ces écarts méritent une étude approfondie dans les Midis, car ils sont un des caractères fondamentaux de la pluviosité. Les géographes sont parfaitement conscients de cette obligation, mais la technique "pointilliste" a envahi ce domaine; la description minutieuse d'un accident, généralement le dernier en date, ne s'accompagne d'aucune recherche de types et de leur fréquence. Les chapitres quatre et cinq sont consacrés à ces lois de la variabilité.

Ces hypothèses sont qualifiées de premières, car elles se sont imposées, soit après de simples réflexions techniques (étude de la variabilité), soit après des observations initiales désordonnées et contraires aux idées émises; puis d'autres hypothèses ont surgi, présentées et démontrées ultérieurement, comme la convergence ou l'opposition des mécanismes zonaux et ré-

(26) E. Benevent, Le climat des Alpes françaises (84).

gionaux, parfois même locaux, dans les provinces méridionales. Les hypothèses ne sortent pas directement forgées de l'esprit du géographe; elles naissent après de longues réflexions sur des tableaux de données, et / ou de simples observations fugitives après des réflexions sur les travaux antérieurs, et / ou théoriques.

2. Les limites pluviométriques des Midis français.

Il est possible de fixer des limites spatiales a priori en climatologie, pour des climats insulaires comme ceux de la Corse, des Antilles.. Quand de telles limites "absolues" n'existent pas, il est parfois rationnel d'analyser en détail les seuils spatiaux, après avoir défini les caractères, puis les mécanismes qui régissent ces climats. Après quelques réflexions sur les limites, climatiques, des "frontières" provisoires sont donc proposées.

La recherche de limites, acte traditionnel du géographe, est l'objet d'un débat sans cesse renouvelé. Pour certains auteurs, tel Gibert, les limites entre les types sont toujours difficiles à établir : "il n'y a en géographie de limites absolues que pour des phénomènes instantanés... ou des délimitations conventionnelles comme des frontières politiques ou administratives" (27). L'attitude inverse est illustrée par R. Brunet qui dresse une typologie des seuils et discontinuités en géographie (28).

Il existe deux types de limites climatiques, les limites d'un élément isolé, et celles de l'ensemble du complexe climatique. Le choix des isoplètes limites dépend de l'optique du chercheur; l'agronome ne retient

(27) Gibert, Simple causerie sur la notion de climat (52)

(28) R. Brunet, Les phénomènes de discontinuité en géographie (8).

pas, sauf par hasard, les mêmes isoplètes qu'un hydrologue. Les frontières, représentées par ces différentes courbes, varient donc suivant les spécialistes, en fonction de buts différents. Ayant retenu uniquement les pluies comme sujet d'études, les limites sont donc celles d'un seul élément; en réalité, l'intégration des rythmes saisonniers, rend complexe la recherche des seuils.

Les éléments du climat sont sensiblement modifiés par l'altitude et les véritables frontières climatiques sont souvent des lignes de relief, fait déjà constaté par P. Pedelaborde : "Les seules limites climatiques valables coïncident en effet avec les limites géographiques et plus particulièrement avec les lignes de relief" (29). Les puissants reliefs qui encadrent Aquitaine et Méditerranée sont des barrières climatiques indéniables; les Alpes et la retombée méridionale du Massif Central isolent les Midis méditerranéens; le bassin aquitain est moins protégé, sauf au sud où se dressent les escarpements pyrénéens.

Pour délimiter les Midis, l'altitude est le premier critère montagnard retenu; en accord avec différents auteurs, la limite du domaine montagnard est fixée à 500 m; les chaînes méridionales sont donc exclues de cette thèse (30). Les formes du relief apportent parfois un correctif aux limites altitudinales; les plateaux du Languedoc et le cône de Lannemezan ont des altitudes supérieures à 500 m; ils butent contre des abrupts vigoureux, et dans ces cas précis, la frontière pluviométrique provisoire suit le pied de ces reliefs.

(29) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

(30) Les climats montagnards sont exclus, car en montagne, les caractères sinon les mécanismes doivent être étudiés à une échelle très fine, et la comparaison entre les deux Midis devient impossible.

La présence de ces encadrements montagneux facilite la délimitation, mais trois marges climatiques s'étendent en l'absence de reliefs imposants. Dans la basse vallée du Rhône, la dégradation du régime pluviométrique méditerranéen est insensible; au nord de la plaine de Montélimar, les régimes sont cependant plus complexes. A l'extrémité sud-ouest de l'Aquitaine, l'abaissement et le morcellement topographique des Pyrénées créent une marge climatique, dont P. Rey a souligné l'originalité : "On peut donc voir dans cet angle sud-ouest une véritable marche axée sur les abords du gave d'Oloron" (31). Le nord de l'Aquitaine est sans doute la zone de transition la plus confuse; tous les isoplètes illustrent la continuité climatique du bassin aquitain et des pays ligériens. L'étude des espaces pluviométriques et des mécanismes fixera des limites plus précises.

III. LES METHODES EN CLIMATOLOGIE

A. LA NOTION DE METHODE

Le terme de méthode a trois sens différents, qui prêtent à confusion. Les logiciens assimilent le mot méthode au terme raisonnement, et décrivent des méthodes inductives, déductives et dialectiques, tel R. Leclerc auteur d'un "traité de la méthode scientifique" (32). Pour d'autres auteurs, comme P. George (33), la méthode est un ensemble de techniques de recherches, et pris dans ce sens, il insiste avec raison sur la pluralité des "méthodes" en géographie. Les différentes étapes pour atteindre la vérité scientifique est le

(31) P. Rey, Essai de Phytocinétique biogéographique (70)

(32) R. Leclerc, Traité de la méthode scientifique (17)

(33) P. George, Les méthodes de la géographie (11).

troisième et dernier sens du mot méthode. Les physi-
ciens, les chimistes, les scientifiques en général
prônent la méthode expérimentale : observation initia-
le, formulation d'hypothèses, puis vérification des hy-
pothèses par l'expérimentation. La méthode géographique
traditionnelle comprend une description (observation-
transcription), une explication, et une classification
ou une division spatiale.

Dans cette thèse le terme méthode correspond à ce
troisième et dernier sens, et il n'existe donc ni mé-
thode séparative, ni méthode synthétique en climatolo-
gie : ces termes recouvrent des objets et des techni-
ques différentes.

La méthode géographique classique est rejetée; une
méthode dont la classification est le terme final n'est
que préscientifique; dans toutes les sciences la tax-
onomie représente l'étape préliminaire. D'autre part,
toute science progresse en affinant ses méthodes et
"il arrive toujours une heure où l'on n'a plus intérêt
à chercher le nouveau sur les traces de l'ancien, où
l'esprit scientifique ne peut progresser qu'en créant
des méthodes nouvelles" (34).

B. LA METHODE STATISTIQUE-EXPERIMENTALE

Le terme retenu pour présenter cette première mé-
thode, peut-être mal choisi, est très explicite. La dé-
marche expérimentale est inconcevable en géographie, car
l'expérimentation est impossible, sauf exception. En
climatologie, à l'échelle du globe, des modèles réduits
sont employés pour analyser la circulation générale
mais à l'échelle des Midis, cette méthode n'est guère

(34) G. Bachelard, Le nouvel esprit scientifique (2).

possible, et l'absence de crédit interdit tout espoir.

"A la démarche des sciences expérimentales : Observation; hypothèse, expérimentation est venu se substituer le processus : observation, hypothèse, traitement statistique" (35). L'expérimentation est ainsi remplacée par des tests statistiques, qui peuvent donner naissance à de nouvelles hypothèses, d'où le cycle dialectique de la méthode expérimentale exposée par G. Bénézé (36).

Le terme observation regroupe l'observation visuelle et l'"observation livresque". La grande majorité des hypothèses de cette thèse ne sont pas issues d'observations visuelles, mais de lectures, formulées à partir des affirmations d'E. Benevent et de G. Viers et J.E. Hermitte. D'autres hypothèses, secondes, sont consécutives à des traitements statistiques; un dernier groupe enfin, ne présente aucun lien direct avec la climatologie, notamment celle qui assimile les mécanismes pluviométriques à des systèmes ouverts. La seule hypothèse partiellement due à l'observation, est l'inadéquation du modèle norvégien, constatée en dépouillant les bulletins quotidiens d'études, mais aussi, à la lecture d'ouvrages de météorologie.

La troisième phase de cette méthode, la vérification statistique remplace l'expérimentation. Pendant des siècles, l'expérience fut seulement un moyen de vérification, puis "l'expérimentation ne constitue pas seulement en science une méthode de contrôle, mais aussi une méthode de découverte" (37). Peut-on accorder la

(35) J.B. Racine et G. Lemay, L'analyse discriminatoire des correspondances typologiques dans l'espace géographique (23).

(36) G. Bénézé, La méthode expérimentale (4).

(37) CG. Hempel, Eléments d'épistémologie (12).

même valeur fonctionnelle aux traitements statistiques ? Dans l'école géographique française, l'analyse quantitative est à peine tolérée, et les plus chaleureux adeptes des techniques mathématiques refusent tout pouvoir créateur aux statistiques. Ce débat ancien, opposa Russel et Poincaré à l'aube du vingtième siècle; ce dernier, mathématicien de valeur, n'admettait pas qu'on récuse le pouvoir créateur des mathématiques. De nos jours cette querelle reste ouverte.

La vérification statistique, sous forme de tests logiques, comme celui du CHI-DEUX, remplace donc l'expérimentation; le climatologue possède ainsi une méthode objective et féconde. Toutes les sciences, avant la seconde guerre mondiale, ont progressé grâce à cette méthode; malgré tout, elle est imparfaite pour le traitement des complexes climatologiques.

La méthode expérimentale a pour fondement la formulation d'hypothèses simples, car l'homme de science ne peut pas saisir globalement plus de sept à dix relations, comme le démontrent les travaux des psychologues. La méthode expérimentale est donc réductionniste, et toute la science classique a consisté à mettre en relation deux faits, parfois trois, sous la forme de fonctions mathématiques simples : la méthode expérimentale est donc analytique.

Dès l'aube du vingtième siècle, l'homme de science essaie d'appréhender des problèmes complexes; G. Bachelard écrit : "Nous venons précisément d'entrer dans le siècle de la molécule après de longues années consacrées aux pensées atomistiques" (38). Pour comprendre et expliquer des complexes, la raison humaine, insuffisante, n'appréhende directement qu'un nombre restreint

(38) G. Bachelard, Le nouvel esprit scientifique (2).

de relations. Les géographes, obéissant aux lois biologiques, ne peuvent pas établir des synthèses comprenant plus de quatre éléments, d'où les forces et les faiblesses de la géographie (39).

C. LA METHODE SYSTEMIQUE.

1. Définitions

L'emploi du concept de système n'est pas neuf, mais si les termes relatifs à l'analyse systémique ne sont pas parfaitement définis, des confusions sont à redouter. Un système est un ensemble d'éléments interdépendants, c'est-à-dire liés entre eux par des relations telles que si l'une des deux est modifiée, les autres le sont aussi et par conséquent tout l'ensemble est transformé.

Un système géographique est donc un ensemble d'espaces décrits par des vecteurs attributs. Dans cet ouvrage les espaces sont appréhendés par l'intermédiaire des postes pluviométriques, et les attributs sont les durées, intensités, hauteurs... caractères de la situation et circulation d'altitude. Ces tableaux ont une troisième dimension, la dimension temporelle, et le système se présente donc sous la forme d'un bloc matriciel. Les dimensions de ce bloc sont variables, notamment la dimension temporelle; des études sont proposées à l'échelle du jour, de la séquence pluvieuse, du mois, de l'année.

Tout système peut être divisé en systèmes de niveau inférieur, et inversement un système peut être assimilé à un élément d'un système supérieur. Le système

(39) Un complexe de quatre éléments comprend douze relations potentielles, directes et inverses.

urbain français, un élément du système urbain mondial, peut être décomposé en systèmes régionaux. Dans cette thèse, le tableau des hauteurs mensuelles de 242 stations est un sous-système, ou système de niveau inférieur.

Les systèmes climatiques sont des systèmes ouverts qui entretiennent des relations avec leur environnement, ensemble de tous les facteurs qui exercent une influence sur le système. Le terme environnement a donc un sens purement opérationnel : les sociétés humaines sont un élément de l'environnement climatique quand, par leur action, elles modifient les climats. L'environnement intra, intragéographique, intraclimatologique est formé des systèmes plus élevés dans la hiérarchie; le système pluviométrique du sud-est français a pour intra-environnement le système pluviométrique de la Méditerranée occidentale. L'environnement extra, extragéographique ou extra pluviométrique est un ensemble d'éléments ou de systèmes différents, par exemple les sociétés humaines.

L'environnement injecte des input au système; celui-ci après un délai plus ou moins long, émet des output en direction de l'environnement. Ces boucles autorégulent le système, mais il existe aussi des feed-back internes au système. Quatre types de feed-back caractérisent les systèmes ouverts, cumulatif, dépressif, homéostatique et enfin de soutien. Dans cette thèse, l'analyse des types de situations-circulations montre la diversité des feed-back et leurs conséquences sur la pluviométrie : quand les systèmes zonaux et régionaux sont en phase, un feed-back cumulatif provoque des averse brutales.

2. La méthode systémique

A partir de ce concept de système, se distinguent la théorie des systèmes et la méthode d'analyse systé-

miqué. Le chapitre neuf, est une introduction à la théorie des systèmes ouverts; il est posé comme hypothèse que les situations-circulations pluviométriques obéissent à la théorie des systèmes ouverts et des conclusions surprenantes en découlent. La méthode systémique, liée au concept de système, n'est pas synonyme de théorie des systèmes; une méthode n'est pas une théorie, même si une théorie peut engendrer une méthode.

La méthode systémique comprend trois phases, l'analyse élémentaire, des structures, et enfin dynamique.

La première étape porte sur les objets du système, les postes pluviométriques dans cette thèse, décrits par un attribut, simple comme la durée et l'intensité des pluies, complexe comme la hauteur et la durée intensité maximum ou paroxysme. Cette première phase se divise en quatre étapes, rechercher la loi de distribution de l'attribut, la variation spatiale de cette distribution, la variabilité temporelle et enfin la prédiction. Dans cette thèse, ayant refusé d'étudier les conséquences de la pluviosité, aucune prédiction n'est faite, mais chaque lecteur dispose d'éléments pour cette quatrième étape; ainsi à Agen, la durée de retour d'une averse de 50 mm en 30 minutes est de sept ans.

La seconde phase, l'analyse de la structure englobe une double démarche, l'étude fonctionnelle des relations entre les attributs, puis celle des relations entre les objets ou structure spatiale. Dans les deux approches, les problèmes ne sont plus unidimensionnels, mais multidimensionnels, au minimum bivariés. Les chapitres six et huit illustrent cette démarche bivariée; dans le chapitre trois la double analyse, des structures fonctionnelles et spatiales des hauteurs mensuelles dans plus de deux cents stations, par les analyses factorielles R-mode et Q-mode, intègre plus de 8 000 relations.

Troisième et dernière étape, l'analyse dynamique

comprend aussi deux démarches; la première considère la structure du système dans son évolution temporelle. Plus délicate est l'analyse proprement dynamique, qui a pour objet essentiel les feed-back ou autorégulations internes, et les relations entre le "système" et les deux environnements. Les modèles mathématiques disponibles sont encore très sommaires.

Cette méthode systémique, contrairement à la méthode géographique classique, et à la méthode expérimentale réductionniste, est synthétique. Le géographe n'atteint pas, mais se rapproche de son idéal, la synthèse. D'autre part, méthode expérimentale et méthode systémique ne sont pas contradictoires; cette dernière est englobante et à chaque étape de l'analyse systémique peut être appliquée la méthode expérimentale.

Ces considérations méthodologiques ont des conséquences pratiques fondamentales. On a affirmé avec force et avec raison, la complexité des types de temps, puis souvent classé les types en tenant compte d'un seul critère, l'ordinateur n'étant pas encore un outil courant. Cette analyse est élémentaire au sens propre du terme, car fondée sur un seul élément, deux quand on ajoute un critère saisonnier; affirmation et classification sont contradictoires. Cette classification est synthétique si le critère intègre tous les autres éléments du complexe. Pour vérifier cette hypothèse, il faut établir des prévisions : si les prévisions et les faits concordent, l'élément retenu est déterminant.

IV. LES TECHNIQUES

A. CLIMATOLOGIE SYNOPTIQUE ET CLIMATOLOGIE SEPARATIVE

La climatologie séparative n'est pas condamnable, car toute climatologie dépend de valeurs isolées relevées dans les stations. Les cartes des BQE et BQR sont

des interprétations du réel, conçues à partir de données séparatives. Ecrire qu'un projecteur blanc est utile pour éclairer un sujet, ne signifie pas que l'apport d'un autre projecteur, par exemple orangé, soit à proscrire et on a pu écrire : "Les deux méthodes ne sont en fait pas exclusives l'une de l'autre" (40).

La climatologie synoptique a un objet différent de la climatologie séparative, et suivant la finalité envisagée par le chercheur, elle peut être très utile. La climatologie synoptique a aussi une fonction explicative mise en relief par P. Pedelaborde (41). La climatologie séparative est certes explicative, car elle permet de répondre à la question COMMENT; démontrer que les durées annuelles des pluies s'ordonnent suivant une loi normale, c'est comprendre un aspect de la pluviométrie.

Pour répondre à la question POURQUOI, le climatologue peut recourir à la climatologie physique objective; ses modèles d'explication présentent cependant des inconvénients sérieux; élaborés au 19^{ème} siècle, ils sont réductionnistes; les formules intègrent des éléments simples. D'autre part, de nombreuses limites sont contraignantes; telle loi est valable seulement pour une atmosphère barotrope, quand les surfaces de pression et de densité coïncident, ou quand les isobars et les isothermes sont parallèles. De telles contraintes sont parfois tyranniques, et les météorologues savent parfaitement que les échanges d'énergie, à l'intérieur des nuages cumuliformes, ne se font pas suivant le modèle adiabatique. L'inadéquation de ces modèles est due à la physique classique, réversible qui étudie des systèmes fermés; or les systèmes aérologiques sont des systèmes

(40) P. Pagney, La climatologie (57).

(41) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

ouverts et la physique irréversible qui les analyse n'est pas parfaitement constituée, bien que déjà ancienne (42).

La démarche synoptique empirique est une seconde forme d'explication. La première étape de toute étude synoptique est la classification de figures isobariques type de situation, de circulation, de temps... Ces types, des complexes, sont classés généralement en retenant un caractère particulier, trajectoire des perturbations, position d'un centre d'action etc... On emploie donc pour un problème multidimensionnel, une technique unidimensionnelle.

En outre, la climatologie synoptique empirique admet parfois comme intangibles des modèles approximatifs, tel le modèle norvégien. Mis au point à l'aube du 20^{ème} siècle, ce schéma frontal, front chaud front froid, s'est vite révélé incomplet; la surface frontale est devenue une zone plus ou moins épaisse, avec une structure hygrométrique très complexe. Les fronts se sont multipliés, anafronts où l'air s'élève, katafronts caractérisés par une subsidence en altitude (43); l'anafront, dans une perturbation jeune, évolue puis se transforme en katafront quand la perturbation s'occlue.

D'autres études ont transformé le schéma initial. En utilisant les échos radars, les climatologues américains ont prouvé l'existence de fronts secs; les fronts ont proliférés, fronts d'altitude, de brise de mer... Les Canadiens ont proposé un "three frontal model", et le Trowal pour remplacer le schéma classique de l'occlusion (44). Plus intéressante encore, la théorie de Kirk, fait éclater les liens entre front et masse d'air;

(42) J. Prigogine, Etude thermodynamique des phénomènes irréversibles (21).

(43) RG. Barry, RJ. Chorley, Atmosphere weather and climate (32).

(44) Voir figures dans ET. Stringer : Foundations of climatology (74).

les fronts, liés aux valeurs du tourbillon, peuvent apparaître dans des masses d'air homogènes.

Cet exposé très bref sur le modèle norvégien souligne le caractère empirique de la climatologie synoptique traditionnelle : "Les auteurs et ceux qui ont popularisé la théorie du front polaire sont responsables de croyances largement répandues, mais erronées qui assimile la météorologie à l'analyse frontale et des masses d'air, alors qu'il s'agit uniquement d'un modèle que les météorologues et les climatologues emploient" (45). Ce modèle norvégien empirique n'est cependant pas gratuit; il est plus ou moins bien sous-tendu par les théories physiques en vigueur dans les années 1920, d'où l'inadéquation de ce modèle, âgé d'un demi siècle (46).

Le troisième type d'analyse causale, choisi dans cette thèse est l'analyse synoptique objective; même si les résultats présentés sont discutables, cette démarche constitue un progrès par rapport aux études synoptiques empiriques. Elle est logique; ainsi la classification des types de circulation-situation n'est pas fondée sur un ou deux caractères, mais sur un ensemble de critères. D'autre part, contrairement à la climatologie empirique, riche en hypothèses, elle permet de formuler des lois. Ce choix marque le passage de la phase empirique, à la seconde phase inductive, avec parfois même quelques balbutiements théoriques, notamment à propos des types de situation-circulation.

La querelle entre climatologie séparative et climatologie synoptique est donc une fausse querelle; deux techniques, jamais contradictoires, elles sont complémentaires. En outre, leur projet est différent; la pre-

(45) ET. Stringer, Foundations of climatology (74).

(46) P. Pedelaborde et ses élèves ont déjà critiqué ce modèle.

mière apporte une réponse aux questions COMMENT, et la seconde une réponse aux questions POURQUOI. Par rapport à la géographie, science des structures et systèmes spatiaux, la climatologie séparative répond partiellement, avec d'autres éléments, à la question POURQUOI; la climatologie synoptique est alors une réponse au second degré. Cette même hiérarchie caractérise d'ailleurs la morphologie, l'hydrologie... et c'est au géographe de décider si ces réponses au second degré font parties intégrantes de la géographie.

B. DES SOURCES ABONDANTES.

La quantité et plus encore la qualité des sources offertes par les stations météorologiques, affectent les formes de la recherche climatique. Pour l'étude des pluies dans les Midis, l'abondance est générale, mais qu'en est-il de la qualité ?

Les cartes d'information climatique (47), montrent que les Midis bénéficient de sources abondantes. Les plaines occidentales de l'Aquitaine, seule région où la densité des stations est faible, est caractérisée par de médiocres variations spatiales de la pluviométrie, car aucun accident topographique valable ne trouble l'unité climatique. Le département du Var, légèrement défavorisé, possède cependant un nombre suffisant de stations.

Toutes les stations ne sont pas retenues, un choix est fait. Les techniques classiques de sondage sont difficilement applicables en géographie. Le sondage stratifié est la seule technique peu critiquable, car la continuité spatiale, contrainte majeure de la géographie, est prise en compte partiellement. La stratification

(47) Ch. P. Peguy et Mme M. F. de Saintignon, L'information climatique en France (67).

des espaces méridionaux est une différenciation des régions pluviométriques, en fonction de leur régime. Les solutions connues, imparfaites comme le montrent les remarques consignées dans le chapitre trois, permettent d'élaborer une typologie préliminaire.

Pour de nombreux auteurs, le régime pluviométrique ne s'inscrit pas dans un cadre temporel saisonnier : "on mesure combien les coupures trimestrielles traditionnelles ont peu de chance de représenter la réalité" (48). En fait, la notion de saison, illustration du rythme climatique est un schéma trop grossier quand est retenue la division trimestrielle. L'écart entre le réel et le modèle, pour employer un terme alors parfaitement justifié, est souvent trop important. Dans aucune région méridionale, une coupure sépare l'automne de l'hiver, même si les mécanismes évoluent.

Pour un bilan partiellement satisfaisant, le regroupement des mois tient compte de facteurs multiples, les moyennes mensuelles et leur dispersion absolue; d'autre part, le coefficient pluviométrique non corrigé (49) et le coefficient λ , carré de l'inverse du coefficient de variation ont été calculés (50). Deux mois consécutifs sont regroupés quand ces paramètres évoluent dans le même sens. Cette technique conduit de proche en proche à une schématisation des régimes moyens.

(48) Melle L. Lepagnot, Quelques aspects récents de la pluviométrie dans les pays de la moyenne Garonne (109).

(49) Il est plus rationnel de déterminer le coefficient relatif qui tient compte de l'inégale longueur des mois, mais la précision n'est pas le souci majeur de cet essai initial de stratification.

(50) $\lambda = \text{moyenne}^2 / \text{variance}$.

L'approximation est imparfaite, et d'autres modèles saisonniers peuvent être élaborés (voir chapitre trois).

Les régimes simples ont un maximum unique en automne et au début de l'hiver, simplicité due à l'amortissement du maximum secondaire de printemps. Cette simplicité caractérise seulement les moyennes, et certaines années le printemps peut être très arrosé. Ce régime s'étend à l'extrémité sud-ouest de l'Aquitaine; de septembre à la fin décembre, 635 mm d'eau sont recueillis en moyenne à Biarritz, total supérieur à ceux de l'année entière relevés dans de nombreux postes méditerranéens. De mars à septembre, les totaux mensuels demeurent importants, supérieurs à 60 mm, les coefficients pluviométriques traduisent cependant la persistance d'une sécheresse relative, et sauf en août, ils sont inférieurs à 8. Plus au nord, seul un étroit liseré côtier, est soumis à ce régime simple.

La côte du delta rhodanien, un des trois pôles de sécheresse que sont les pays toulousains, le Roussillon et le bas-Rhône dans son ensemble, présente une anomalie négative des pluies printanières, surprenante en Méditerranée. Une série trop brève ou des facteurs locaux sont les deux hypothèses explicatives les plus vraisemblables, pour comprendre l'absence d'un printemps pluvieux moyen sur ces rivages.

Le régime binaire a deux saisons pluvieuses, automne et printemps, fut souvent analysé sur les rivages méditerranéens (51). Il correspond à des régions moyennement arrosées, aux totaux annuels (année civile) compris entre 700 et 1 000 mm. En Aquitaine, les pluies de

(51) E. Benevent, La pluviosité de la France du sud-est (83).

R. Dugrand, La garrigue montpelliéraine (99).

saison froide, les plus importantes, durent de trois à cinq mois. La dégradation "continentale" est nette, cinq mois pluvieux sur la côte atlantique, sauf au niveau des Landes, et trois mois seulement au centre de l'Aquitaine. Dans les régions méditerranéennes, excepté la Provence orientale, où le bimestre novembre-décembre est très arrosé, les pluies tombent surtout en automne; cependant la durée de cette saison pluvieuse varie rapidement sur de faibles distances, et aux cinq mois du bas-Rhône intérieur s'opposent les trois mois du comté de Nice.

Le second maximum de printemps est plus ou moins prononcé. Sur la côte d'Azur et dans l'agenais, il dure aussi longtemps que le maximum principal, trois mois, mais les totaux sont plus faibles, notamment sur la côte d'Azur. D'autre part, cette saison pluvieuse, printanière sur le littoral méditerranéen niçois, est décalée au début de la saison chaude en Aquitaine. Dans les autres provinces climatiques soumises à ce régime, Aquitaine intérieure, sauf le toulousain, et domaine méditerranéen, littoral rhodanien exclu, ce second excès est moins long; il ne dure jamais plus de deux mois, sauf en Roussillon où les pluies de printemps plus copieuses, sont moins concentrées.

En toulousain, les précipitations médiocres, inférieures à 700 mm en moyenne, ont une répartition saisonnière très complexe. Les pluies les plus intenses du bimestre mai-juin sont des précipitations de saison chaude; après le répit de juillet, des averses copieuses effacent les effets de la sécheresse estivale, août et septembre forment un second bimestre humide; après un nouveau minimum en octobre, novembre et surtout décembre constituent un troisième maximum. La primauté des pluies de saison froide s'estompe donc, seul décembre est un mois pluvieux, mais au second rang après mai. A l'est du

toulousain, dans les postes du seuil de Naurouze, ce schéma atteint son maximum de clarté, puis se dégrade rapidement, et à Carcassonne le creux d'octobre s'estompe.

Ces démarches, imparfaites, donnent cependant une stratification spatiale raisonnable qui a guidé le choix des stations-types. En outre, la volonté d'analyser les durées et les intensités réelles impose les stations équipées d'un pluviographe enregistreur; cette exigence élimine un très grand nombre de stations. Les courbes d'enregistrement sont de 24 heures ou de 7 jours; dans le second cas, les graphiques sont illisibles à l'échelle de l'averse de faible durée, et seuls les graphes illustrant les pluies en vingt quatre heures sont donc retenus.

Ces graphiques d'enregistrement, très précieux, n'ont pas encore été utilisés par les géographes, car leur mise en place est récente (52). Aucun poste ne dispose d'une série continue de 20 ans. L'échelle des schémas interdit de mesurer avec précision la durée et l'intensité des pluies très brèves, inférieures à 0,2 mm. Ces ondées dessinent un simple crochet, et pour déterminer la durée il faut recourir aux tableaux climatiques mensuels, même si la concordance entre les deux sources n'est pas toujours parfaite.

Les pluviographes enregistreurs sont parfois partiellement obstrués par des débris divers apportés par le vent, par exemple des pollens. Ce fait accidentel, mais relativement fréquent, est visualisé par l'apparition de très larges paliers dus à un écoulement difficile : la durée est ainsi artificiellement augmentée. De telles anomalies, fréquentes à Perpignan, ont entraîné

(52) L'analyse de J.P. Vigneau ne retient que les pluies de longues durées "Précipitations d'automne et perturbations méditerranéennes dans les Pyrénées orientales" (122).

de nombreuses corrections; pour tous les cas douteux, la consultation des tableaux climatologiques mensuels est nécessaire.

D'autre part, des paliers ne correspondent à aucune averse; ainsi à Montpellier, au coeur de l'été sous un soleil de feu, le pluviographe enregistre parfois des ~~eaux~~ d'arrosage. En hiver, dans de nombreuses stations, les dépôts de rosée peuvent provoquer de légères indentations sur les courbes. Souvent, ces erreurs sont signalées, mais certains oublis doivent être rectifiés. Toutes ces remarques démontrent la relativité et la difficulté de mesures précises. La brièveté des séries incite aussi le climatologue à la prudence, expliquant les fréquences arrondies.

Pour certains thèmes, l'emploi des pluviographes enregistreurs n'est pas nécessaire, la qualité des relevés effectués est alors le premier critère de choix. Les stations où les relevés sont l'oeuvre du personnel qualifié de la météorologie nationale, ont été retenues de préférence aux postes confiés à des bénévoles. Les relevés généralement plus rigoureux, sont aussi plus continus. Dans le bulletin pluviométrique mensuel, successeur des tableaux III de la deuxième partie du bulletin annuel après 1960, sont indiquées les stations aux relevés suspects. D'autre part, les résultats ont été vérifiés en consultant les sources régionales au cours de déplacements sur le terrain.

Malgré l'intérêt présenté par ces postes, leur nombre est insuffisant dans certaines régions, en particulier en Provence intérieure et sur le piémont pyrénéen; des localités choisies suivant leur équipement et leur situation géographique sont adjointes. Presque toujours, ces postes climatologiques sont tenus par des organismes officiels, comme l'EDF ou les Eaux et Forêts.

Le site précis des stations, un second facteur très

important, exagère ou atténue l'intensité des divers éléments du complexe pluviométrique. A Bordeaux-Mérignac, les forêts et marécages voisins expliquent la formation très fréquente de brouillards nocturnes et matinaux, qui modifient parfois le tracé des diagrammes, sans que soit enregistré la moindre pluie; A. Orieux a prouvé que les cumulonimbus orageux "circulent tout autour de l'étang de Berre, ne donnant sur la plaine de Marignane et l'étang lui-même que de faibles précipitations" (53). La connaissance des micro reliefs, de la nature du sol, et de la végétation est donc nécessaire pour comprendre certains résultats bruts.

Pour apprécier la validité des données stationnelles, des techniques multiples sont disponibles, notamment la critique "historique" à partir des archives des centres météorologiques régionaux. Pour chaque poste existe un "cahier" d'exploitation, où sont consignés les déplacements des appareils de mesure, leur remplacement, les transformations de l'environnement immédiat. Une seconde technique assez précise, sinon parfaite, met en valeur les cassures sur une courbe de double cumul. Ce test est valable pour une corrélation linéaire très forte, entre des stations d'une même région; pour choisir une ou deux stations-tests par région, il est mal adapté.

Toutes ces contraintes ont provoqué le choix de deux groupes de stations, dont le nombre varie suivant les problèmes traités. Pour les thèmes généraux, comme la carte des régimes, plus de deux cents stations sont retenues; pour les durées et intensités réelles un échantillon de 14 stations représente les différentes

(53) A. Orieux, Radar et pluviométrie à Marignane (115)

régions climatiques :

- Pays basque	= Biarritz, parfois Pau
- Aquitaine littorale	= Bordeaux, parfois Cazaux
- Aquitaine intérieure	= Toulouse, parfois Agen et Saint-Girons
- Roussillon	= Perpignan
- Languedoc	= Montpellier, parfois Nîmes
- Bas-Rhône	= Marignane, parfois Avignon
- Provence	= Nice et Toulon

Ces postes, en nombre suffisant pour déterminer les variations spatiales à l'échelle des deux domaines, et des provinces pluviométriques, ne permettent pas d'établir des comparaisons à des échelles inférieures.

Les bulletins quotidiens d'études (BQE), et les bulletins quotidiens de renseignements (BQR) sont indispensables pour dresser un tableau des situations pluvieuses, et préciser les mécanismes de la pluviométrie. Ils présentent néanmoins des défauts; leur conception et mise en page a évolué au cours des vingt dernières années : les cartes au sol sont actuellement à une échelle supérieure et la lecture, donc l'interprétation, est encore plus difficile. Les sondages aérologiques simplifiés, et la carte de la situation au niveau 700 mb ont été supprimés. Plus grave, les Midis sont parfois mal traités, les situations régionales apparaissent mal, et des accidents demeurent inexplicables sans documents annexes. Les Täglicher Wetterbericht sont plus complets, avec des cartes de topographie relative très éclairantes, des diagrammes aérologiques simplifiés pour Bordeaux et Nîmes, et une carte générale de tout l'hémisphère nord, excellente illustration des deux grands

types de circulation, zonale et méridienne.

Les sondages en altitude, réalisés dans les stations de Bordeaux, Nîmes, Millau, Milan, et parfois Ajaccio, documents de grande valeur pour déterminer l'origine et la nature des masses d'air, sont malheureusement dispersés dans les centres régionaux, et détruits rapidement; les cartes masses d'air, reproduites sur microfilm, et les cartes conservées à Saint-Cyr, sont moins précises.

Pour l'analyse de situations particulières, la consultation des cartes élaborées par les prévisionnistes régionaux est nécessaire. A Nice, sont tracées les Liguriennes, où tous les isobares unitaires dessinés révèlent des traits secondaires, expliquant les variations d'intensité des phénomènes climatiques. Des cartes régionales, tracées toutes les trois heures, permettent de suivre avec précision l'évolution du temps et ses irrégularités; oeuvre de techniciens régionaux, elles sont subjectives, et donnent des interprétations différentes. Les rétrogrades du golfe de Gênes, sont plus ou moins mises en évidence suivant l'auteur de la carte; mais les divergences concernent de simples détails. Ces sources régionales sont discontinues dans l'espace et dans le temps. La discontinuité spatiale est secondaire, car les BQE et BQR sont toujours les documents de première main; mais toutes ces données et cartes sont jetées au rebut deux ans après leur parution. Ces documents précis couvrent donc une période restreinte de trois à cinq ans.

D'autres documents originaux ont été consultés, par exemple les cartes de vitesses verticales, établies depuis 1973, et conservées au centre de la Météorologie Nationale à Paris. Ces documents sont d'une très grande utilité, les précipitations étant plus ou moins dépendantes des mouvements ascendants et subsidents de l'air.

D'autres données spécifiques ont été recueillies, notamment les indices de circulation journalière; le défaut essentiel de ces sources est la brièveté des séries, et les résultats présentés constituent seulement des ordres de grandeur.

C. LES MATHÉMATIQUES AU SERVICE DU CLIMATOLOGUE

Les mathématiques ont des liens privilégiés avec la recherche scientifique en général, et avec la climatologie en particulier, à tel point que l'on a pu regretter que : "Certains chapitres comme le climat ou l'économie se limitent à des listes de chiffres" (54). Il faut distinguer l'apport des mathématiques générales, et l'apport plus spécifique des statistiques.

Pour comprendre les mécanismes physiques qui régissent le temps et les précipitations, le climatologue doit posséder ou acquérir une formation mathématique sérieuse. La méconnaissance des règles du calcul vectoriel et intégral empêche toute approche efficace de la météorologie dynamique; cependant le climatologue n'a pas à reproduire de longues démonstrations mathématiques dans ses travaux.

La statistique est une science longtemps tenue suspecte par les géographes, sauf de rares et brillantes exceptions. Il existe plusieurs types de statistiques, et dès 1935 Willcox dénombre plus de cent définitions, qui dépendent des solutions apportées pour résoudre des problèmes méthodologiques. Le climatologue emploie très souvent la statistique descriptive mais il ne peut pas ignorer la statistique inférentielle, comme l'attestent des exemples traités dans cette thèse.

(54) A. Meynier, Histoire de la pensée géographique en France (19).

La technique statistique va de pair avec une conception philosophique particulière, le probabilisme opposé au déterminisme et au possibilisme. Tout calcul d'un paramètre statistique, même très simple comme la moyenne arithmétique, devrait être accompagné de limites de confiance, définies à partir d'erreurs-types.

Les techniques statistiques ont un premier intérêt, reconnu par tous les géographes : préciser un fait. Cette précision ne constitue pas l'apport principal, bien au contraire : "L'excès de précision, dans le règne de la quantité, correspond très exactement à l'excès du pittoresque, dans le règne de la qualité... on peut y voir une des marques les plus nettes d'un esprit non scientifique, dans le temps même où cet esprit a des prétentions à l'objectivité scientifique" (55).

Le second intérêt des techniques statistiques, est la clarté; les termes petit, moyen, grand n'ont de sens que par rapport à une échelle, qui peut être statistique en utilisant différents types de quantiles (voir chapitre quatre). Cette clarté est encore plus importante pour définir la variabilité d'un élément climatique; dans de trop nombreux ouvrages, la forte variabilité est décrite par un accident climatique, parfois deux ou trois.

La statistique permet surtout de découvrir des lois. Un premier type de loi correspond à l'ajustement probabiliste d'une analyse fréquentielle, ajustement mécanique, ou mieux encore analytique par la "méthode" des moindres carrés. Chaque élément du complexe pluviométrique obéit à une loi de distribution, y compris les paroxysmes.

La statistique permet aussi de définir des lois dynamiques; outre les variabilités absolues et relati-

(55) G. Bachelard, Le nouvel esprit scientifique (4).

ves structurelles, la variabilité interséquentielle est déterminée pour certains paramètres. L'analyse des séquences pluvieuses de 1,2,3... n jours, celle de la durée des années pluvieuses sont aussi des exemples de traitement statistiques dynamiques. La statistique des chroniques et des processus permet d'appréhender les lois "temporelles".

Le climatologue étudie des éléments, mais analyse surtout des relations. Affirmer l'existence de relations et citer quelques exemples précis, ne constitue pas une démonstration. La statistique bivariée prouve la présence ou l'absence de relation entre deux faits, même si elle n'est pas causale. La corrélation entre deux séries peut toujours être testée, quelle que soit la forme des données, cardinales, ordinales ou nominales. Les techniques de contingence pour les données qualitatives, de corrélation de rangs, linéaire ou non linéaire, pour les données quantitatives permettent de confirmer ou d'infirmer l'existence de relations. Dans cet ouvrage, de nombreuses parties, parfois même des chapitres entiers, spécialement le chapitre six, illustrent l'emploi de ces techniques.

La plupart des problèmes importants de l'analyse climatique, ou de l'analyse géographique, sont complexes à n dimensions, et l'analyse multidimensionnelle devient alors la seule solution pour les appréhender sans les décomposer. L'analyse des complexes, par exemple des types de situation-circulation comprend trois parties, classification, recherche des structures internes, puis prédiction; les algorithmes de classification, les analyses factorielles au sens large, et la régression multiple répondent à ces trois questions. Ces techniques lourdes et compliquées, sont nécessaires pour l'étude logique, donc scientifique, des complexes.

Les avantages des traitements statistiques présen-

tés, leur caractère logique étant fondamental, voici quelques réponses aux critiques souvent émises. On a pu écrire que les données employées sont généralement erronées et nier la valeur des résultats; ces censeurs utilisent les mêmes données, sans généralement faire une analyse critique plus détaillée. D'autre part, deux types d'erreurs entachent les données, systématiques et dues au hasard. Les premières sont décelées par "l'analyse historique", ou par des techniques statistiques comme la courbe de double cumul. Les secondes se compensent; elles ne peuvent pas être appréciées qualitativement, mais le climatologue quantitatif peut les appréhender, car elles ont une distribution gaussienne, et elles obéissent à la loi d'addition des variances. Le climatologue quantitatif, est donc plus apte à déceler les erreurs. Enfin, la statistique n'est pas un outil de précision, mais une technique logique; les relevés de hauteur d'eau sont entachés d'une erreur, de l'ordre de 15 à 20 %, mais les lois de distribution des hauteurs annuelles n'en demeurent pas moins gaussiennes.

Les techniques statistiques ne prennent pas en compte les critères qualitatifs dit-on, et cette contrainte mineure en climatologie, devient tyrannique en géographie, quand l'homme intervient. Cette opposition qualitatif-quantitatif n'existe pas sous cette forme : tout phénomène scientifique est appréhendé par des attributs définis par des nombres d'échelles différentes, cardinales, ordinales, nominales... Quantitatif et qualitatif sont de vagues repères d'un seul et même continuum.

Le seul problème concerne la perte d'information lors du passage d'une échelle à l'autre, de l'échelle cardinale à l'échelle nominale. Soit dix centres d'action représentés par une valeur de pression en mode

cardinal, mais seulement par 1 ou 0 en mode nominal; l'information retenue dans le second mode est très inférieure. Dans les traitements ultérieurs cette perte d'information peut donner des résultats trop simplifiés, donc évidents. Ce danger s'estompe actuellement, car les mathématiciens mettent au point des programmes traitant ensemble des données d'échelle différente, programmes malheureusement non disponibles pour cette thèse.

Dernière critique souvent adressée à la statistique : elle n'a aucun pouvoir explicatif. L'explication comprend deux phases, répondre à la question COMMENT, puis à la question POURQUOI, et toujours la démonstration doit être faite. L'expérimentation étant impossible, la vérification par les tests statistiques constitue une des rares techniques, sinon la seule, pour vérifier une hypothèse. D'autre part, pour répondre à la question COMMENT posée sur des complexes, la technique statistique est l'outil le plus satisfaisant. Pour les hypothèses relatives à la question POURQUOI, cette technique n'a aucun pouvoir directement créateur, nous écrivons bien directement, car indirectement un test négatif, peut conduire le chercheur à formuler de nouvelles hypothèses très fécondes.

CONCLUSION

Les oppositions climatologie synoptique - climatologie séparative, climatologie quantitative - climatologie qualitative, factices, se situent au niveau des objets ou des techniques. Le seul débat important, si la climatologie est une science, doit porter sur les méthodes.

Actuellement, il existe une climatologie synoptique empirique, première étape scientifique, qui est

étroitement dépendante du modèle norvégien mis au point dans les années 1920. La climatologie inductive, logique, objective, et partiellement prédictive, correspond à une seconde étape déjà partiellement atteinte par la climatologie séparative; elle marque un véritable progrès. Cette thèse est un essai pour parvenir à ce stade. Cette thèse constitue une introduction à la climatologie inductive; elle représente une ouverture plutôt que le couronnement d'une "climatologie norvégienne" fondée à l'aube du vingtième siècle. Comme toute introduction, elle ne saurait prétendre à l'éternité.

C H A P I T R E U N

LA DUREE DES PRECIPITATIONS

Depuis de nombreuses années, les météorologues, les ingénieurs et les géographes s'intéressent à l'intensité des précipitations, plus spécialement aux intensités records qui ruinent les récoltes, engendrent des catastrophes, et frappent l'opinion publique. La durée des précipitations ayant un intérêt pratique moins immédiat semble-t-il, est un sujet rarement abordé, même si "la durée des précipitations / est / un élément climatique important" (1).

1-1 REFLEXIONS PRELIMINAIRES

1-1-1 LE CHOIX DES PARAMETRES

La première phase d'une analyse des durées consiste à choisir un nombre relativement restreint de paramètres, parmi la gamme des données recueillies à la météorologie nationale. Le nombre de jours de pluie, la durée mensuelle des pluies, la durée exacte de chaque chute, et la durée en jours des séquences pluvieuses sont les quatre paramètres choisis dans cette étude.

Le nombre de jours pluvieux est une donnée séduisante par sa simplicité, mais comme l'intensité moyenne elle est insuffisante. En effet, au cours d'un jour de pluie, une ondée peut durer quelques secondes ou s'éterniser pendant vingt quatre heures. Le cadre journalier est donc imparfait pour une analyse détaillée, et seules les moyennes ont été déterminées.

(1) E. A. Bontrond, La durée des précipitations (41).

Pour préciser les durées réelles moyennes, les durées réelles mensuelles, reproduites depuis 1966 sur les Résumés mensuels du temps, et archivés dans les services centraux de la Météorologie Nationale, depuis quinze ans sont utilisées. Ces séries sont brèves, mais la variabilité est très faible et des tendances sinon des lois peuvent être dégagées.

Les durées réelles de toutes les averses, recensées sur les diagrammes des pluviographes, les tableaux climatologiques mensuels et les comptes rendus quotidiens (CRQ) permettent une seconde approche plus fine. Un problème méthodologique se pose : Quand doit-on considérer deux averses comme distinctes ? La pluie est par nature un phénomène discontinu dans le temps, et deux précipitations séparées par quelques minutes correspondent pratiquement toujours à un seul mécanisme, par exemple au passage d'un front qui ondule. La solution rationnelle consiste à ne comptabiliser qu'une seule chute, mais alors quel intervalle de temps retenir pour que deux averses soient distinctes ?

Aucune solution statistique ne peut être avancée et prônée avec certitude, les intervalles variant entre une minute et plusieurs heures ; or, suivant la solution retenue, la distribution fréquentielle des séries statistiques varie, notamment en Aquitaine. L'exemple d'août 1966 est particulièrement démonstratif pour Bordeaux-Mérignac ; si une accalmie d'une minute suffit pour distinguer deux averses, on compte cinquante et une chutes ; pour des intervalles d'une demi-heure, une heure, et deux heures on obtient respectivement quarante-deux, trente-six et vingt-six chutes, avec un total horaire constant. Dans le premier cas sont comptabilisées un très grand nombre de chutes brèves, et dans le dernier peu d'averses mais durables.

Des auteurs américains proposent d'autres seuils,

deux chutes sont distinctes quand l'intervalle non pluvieux atteint six heures. Comme les seuils précédents, il est empirique. Une solution correcte consisterait à comparer la durée aux types de situations, mais le temps qui sépare deux averses distinctes en fonction de leur origine varie fortement suivant les types de situations. Par situations typiques de blocage sur les rivages méditerranéens, quand persiste l'anticyclone froid en Europe Centrale ou un anticyclone régional sur les Alpes, des pluies séparées par douze heures d'accalmie peuvent appartenir au même type. Inversement, par circulation zonale très rapide, le changement de mécanismes, comme le passage d'un front à un autre, peut être très bref. Aucune solution n'est parfaitement satisfaisante, les trois seuils de une heure, deux heures et six heures, permettent d'établir des comparaisons éloquentes.

Le caractère séquence pluvieuse, quatrième attribut choisi, est peu utilisé dans la littérature géographique. Les jours de pluies ont des liens de dépendance entre eux et forment des séquences de un, deux, trois.. n jours. Onze classes ont été retenues, les précipitations persistant rarement au-delà, et d'autre part, la règle de Brooks qui détermine le nombre de classes en fonction du nombre total de données, doit être respectée.

Deux problèmes se posent, celui des traces et celui des séquences chevauchant deux mois. Parfois, il pleut le 29 d'un mois et cette séquence se prolonge sur le mois suivant. Nous admettons la règle empirique suivante : la période, pluvieuse ou sèche, est intégrée au mois sur lequel elle s'étend le plus. Soit une séquence de sept jours, trois en novembre et quatre en décembre, cette séquence est rattachée statistiquement au mois de décembre.

Le problème des traces est difficile à résoudre; très souvent des traces, moins de 0,1 mm, sont mentionnées au coeur d'une séquence pluvieuse. Ne pas les considérer comme un jour de pluie revient à diviser en deux une série de jours pluvieux qui manifestement appartiennent au même type de situation. Afin d'éviter une telle absurdité, les traces observées entre deux jours de pluie n'interrompent pas la séquence. Quand ces traces sont observées en fin ou en début de période, elles ne sont pas retenues. Les trois exemples ci-dessous illustrent ce choix :

p	t	p	séquence de trois jours
t	p	t	séquence d'un jour
t	t		pas de séquence pluvieuse

solution imparfaite, mais la plus rationnelle.

1-1-2 PROBLEMES ET TECHNIQUES

Le choix d'une technique précise est fonction des questions à résoudre. Déterminer les lois de distribution des caractères pluviométriques, et proposer une analyse scientifique, et non pas seulement pointilliste de la variabilité, tels sont les deux principaux objectifs fixés.

Pour les atteindre, deux techniques statistiques simples sont employées, l'analyse fréquentielle et l'examen des différents moments d'une série statistique. L'analyse fréquentielle conduit à l'élaboration d'histogrammes, et de diagrammes intégraux où sont représentées les courbes de fréquences relatives cumulées. Ces diagrammes permettent de choisir le modèle probabiliste le plus représentatif de la réalité.

La durée réelle de chaque averse peut aussi faire l'objet d'une analyse fréquentielle; les deux courbes

tracées sur la figure 1.1 sont la traduction visuelle des hypothèses anciennes, et des hypothèses récentes émises par G. Viers et JE. Hermitte.

L'analyse des moments est une technique plus élaborée; la moyenne arithmétique, moment d'ordre 1 par rapport à l'origine, définit la tendance moyenne d'un fait géographique. Ce paramètre, qui a toujours un sens mathématique, n'est souvent pas "réaliste", particulièrement pour les distributions en I ou en J; il est alors préférable de déterminer la médiane, paramètre de rang, qui divise la série en deux parties égales.

La variabilité des durées est définie à l'aide de l'écart-type et du coefficient de variation, liés à la variance, moment centré d'ordre 2. L'écart-type mesure la variabilité absolue par rapport à la moyenne, le coefficient de variation qualifiant la variabilité relative. Pour les distributions très dissymétriques, l'interquartile et le coefficient interquartile ont la même fonction.

Les deux paramètres B_1 et B_2 mesurent la dissymétrie et l'applatissage d'une courbe, et présentent donc un réel intérêt descriptif; mais surtout, ces deux fonctions de moments, facilitent la détermination du "type de courbe susceptible de convenir à l'ajustement d'une distribution expérimentale" (2). Ce résultat s'obtient en portant sur l'abaque de Pearson les points B_1 (abscisse) et B_2 (ordonnée) de chaque série étudiée, mensuelle ou annuelle. Ces coefficients sont sujets à de fortes variations dépendantes de la taille de l'échantillon; les quinze années disponibles sont insuffisantes pour assurer le caractère définitif des résultats.

Les séquences pluvieuses se prêtent à une double analyse. Comme pour les autres paramètres représentatifs de la durée, l'analyse fréquentielle structurelle

(2) J. Vialar, Calcul des probabilités et statistique (27)

des différents types de séquences fournit une série de modèles mathématiques des distributions. Dans une seconde phase, les séquences pluvieuses sont étudiées dans leur ordre chronologique, donc dynamique. L'analyse de telles chroniques n'est pas facile; après avoir essayé de démontrer le caractère aléatoire ou organisé d'une série avec des tests, on fait appel à des modèles probabilistes très complexes, du type chaîne de Markov. Ce second problème, d'intérêt pratique, dépasse le cadre de cet ouvrage théorique.

Le caractère aléatoire des séries est testé par la technique des successions des phases sur les séries de Marignane et Bordeaux, car les séquences considérées dans leur ordre chronologique ne sont pas des variables indépendantes : "entre jours successifs la dépendance est évidemment plus marquée et la probabilité de la pluie est plus grande lorsqu'il a plu la veille que si le temps est demeuré sec" (3). Les tests sont donc positifs, car les séquences obéissent à un "cycle" saisonnier, et surtout intervient l'effet de persistance.

La persistance est plus difficile à quantifier; les techniques comparent une distribution théorique et la répartition réelle. Pour une station donnée, la probabilité générale d'un jour de pluie est :

$$p = \frac{n}{N}$$

où n représente le nombre total de jours pluvieux, et N le nombre total de jours considérés. La probabilité d'un jour sec est :

$$p' = 1 - p$$

quand n'intervient aucune persistance, la probabilité qu'un jour i soit le commencement d'une séquence

(3) H. Grisolle et autres, Climatologie méthodes et pratiques (54).

d'au moins un jour est	$p' \cdot p_0$
d'au moins deux jours est	$p' \cdot p^2$
d'au moins x jours est	$p' \cdot p^x$

Quand la période étudiée comprend N jours, les probabilités de séquences d'au moins 1, 2, 3 ... x jours plus vieux deviennent : $N p' p$, $N p' p^2$... $N p' p^x$. La différence entre les séquences observées et les probabilités donne l'évolution de la persistance.

Le rapport de persistance, seconde technique simple, est égal à la longueur moyenne des séquences observées, (nombre de jours de pluies sur nombre de séquences), sur la longueur moyenne théorique des séquences définies par :

$$LM = \frac{1}{1 - p}$$

où p est la probabilité définie ci-dessus. Ces techniques très simples, plus expressives que les processus de Markov, sont préférables, du moins pour une analyse théorique.

1-2 DUREE MOYENNE ET REPARTITION FREQUENTIELLE DES TYPES DE DUREE

1-2-1 LA DUREE MOYENNE DES PRECIPITATIONS

Toutes les analyses démontrent la brièveté des pluies sur les côtes ensoleillées de la Méditerranée, évidence qui mérite cependant d'être précisée. La comparaison visuelle entre les différentes figures montre l'imperfection du paramètre jour de pluie; l'examen des durées réelles en heures, fait apparaître trois types (Fig. 1.2).

TAB. I. I LES DUREES MENSUELLES TOTALES
(moyenne, variabilité et forme)

J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Bordeaux											
101	75	78	76	55	41	32	35	61	60	99	130
36	40	38	20	20	18	18	20	34	34	32	57
35	53	48	26	36	45	57	58	56	55	32	44
-0,40	0,68	-0,20	0,01	0,21	0,92	0,68	0,88	0,90	0,35	-0,36	0,00
2,32	4,49	2,60	2,07	2,28	3,48	2,59	3,05	3,38	2,06	2,12	2,32
Biarritz											
87	67	83	89	62	44	33	39	62	58	106	123
30	32	30	32	21	15	16	23	30	32	40	56
34	47	36	36	33	33	50	59	48	55	37	45
-0,20	0,27	-0,60	0,46	0,34	0,10	0,63	1,22	0,37	0,48	0,87	0,04
2,44	1,94	5,00	2,69	1,94	2,42	2,88	4,80	1,98	2,36	2,88	1,91
Toulouse											
86	67	86	84	62	42	27	31	54	55	93	124
25	26	37	29	18	15	18	19	26	28	28	62
29	39	43	34	29	35	66	61	48	51	30	49
-0,26	0,34	-0,48	0,05	0,00	0,18	0,88	1,31	0,16	0,55	-0,04	0,42
1,99	1,94	3,30	3,14	1,70	2,10	2,64	5,09	2,18	2,55	1,56	2,71
Carcassonne											
89	76	90	85	55	37	29	24	46	60	92	121
30	25	44	29	18	11	27	11	25	25	40	47
34	33	49	34	32	29	91	43	54	42	44	38
-0,53	-0,00	-0,29	0,03	0,58	0,38	2,16	-0,02	0,16	0,68	0,16	-0,19
1,80	2,25	2,59	1,55	2,30	2,46	8,34	1,48	2,23	2,98	1,84	2,03
Saint-Girons											
85	55	92	85	76	60	46	41	57	60	80	126
32	25	39	26	29	21	22	19	26	26	23	62
38	43	42	31	38	35	48	45	47	43	29	49
0,19	0,44	-0,20	0,30	0,49	0,87	1,77	0,79	0,08	0,10	0,14	0,48
1,77	2,63	2,56	2,25	2,64	2,61	6,47	3,24	1,72	2,05	2,36	2,58

J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Perpignan											
54	55	72	54	42	25	18	24	43	60	73	85
26	33	34	35	21	11	11	12	30	40	44	31
48	61	47	64	49	44	61	49	71	67	60	37
0,22	0,89	0,26	1,28	0,46	0,10	1,34	0,21	0,56	0,83	0,07	0,72
1,60	3,24	2,99	3,87	2,56	1,80	5,17	1,84	2,44	3,54	1,70	2,95
Montpellier											
46	49	59	36	25	16	9	14	28	48	44	54
25	36	41	27	11	8	7	7	19	27	24	28
54	74	70	74	45	52	74	54	67	56	54	52
-0,12	1,20	0,18	0,66	0,56	0,09	0,65	0,00	1,09	0,22	0,51	0,10
2,61	4,66	2,04	3,28	3,02	1,77	2,70	1,96	3,97	2,08	1,93	2,07
Marignane											
43	46	55	33	24	17	7	12	28	39	54	59
21	30	37	21	13	9	6	8	21	21	25	28
48	64	67	66	54	50	81	62	74	53	46	46
0,10	0,57	0,20	0,09	0,22	0,39	0,31	0,73	1,14	0,43	0,71	0,02
2,09	2,17	1,89	1,56	1,86	2,30	1,80	2,46	3,73	2,73	3,50	2,66
Nice											
71	69	73	50	31	25	7	18	36	51	100	72
49	46	45	28	17	12	5	11	22	33	33	36
69	66	61	54	55	47	70	63	62	64	33	51
0,61	0,60	0,00	0,49	0,74	0,42	0,12	0,05	0,37	0,85	0,19	0,48
2,67	2,31	2,02	1,82	2,58	2,26	1,81	1,97	2,10	3,19	1,97	1,96

Légende :

- ligne 1 : moyenne
- ligne 2 : écart-type
- ligne 3 : coefficient de variation
- ligne 4 : coefficient de dissymétrie
- ligne 5 : coefficient d'aplatissement

En Aquitaine, il pleut plus souvent et plus longtemps que sur les rivages méditerranéens. Toutes les stations sont situées sur une même verticale dans les graphiques, et la durée réelle des pluies ne présente donc pas de grandes variations spatiales, bien que dans les plaines intérieures les jours pluvieux soient moins nombreux.

Sur les rivages méditerranéens, la Côte d'Azur est l'espace le plus favorisé, d'après le nombre de jours pluvieux, mais les durées réelles sont maxima à Nice, plus de 600 heures. Le Roussillon, semblable au Comté de Nice, s'oppose au bas-Rhône et aux régions voisines, où les durées réelles sont inférieures à 450 heures.

1-2-1-1 Durée moyenne des précipitations en Pays Basque.

Le pays basque, très arrosé, ne se distingue pas dans l'ensemble aquitain. Le nombre de jours pluvieux est sensiblement plus élevé, mais l'examen des durées horaires ne montre aucune supériorité très nette, notamment sur le front de mer. La durée des pluies augmente dans les bassins intérieurs, et à Pau, on relève plus d'heures de pluies qu'à Biarritz; cette anomalie paraît surprenante, et des études menées à une autre échelle, avec de nombreuses stations, sont nécessaires pour confirmer ou infirmer cette première constatation.

L'évolution saisonnière des durées (Fig. 1. 3) se calque imparfaitement sur le régime des hauteurs. Le maximum d'hiver, très marqué, commence en novembre, et se prolonge en janvier. A la fin de l'hiver, en février, le déclin est brutal. Le second maximum de printemps est commun à toutes les stations, côtières et intérieures; à Pau près de cent heures de pluies sont décomptées en avril. Sur le littoral, une légère augmentation

des durées caractérise mars et avril; il n'y a donc pas correspondance parfaite entre le régime des hauteurs et celui des durées. En été, ce décalage disparaît, les durées sont minima en juillet, mois le plus sec.

1-2-1-2 Durée moyenne dans les Midis "humides" (3)

- Languedoc et Provence orientale

Dans les plaines et plateaux languedociens et en Provence orientale, sont recensés moins de cent jours de pluie par an. La Côte-d'Azur est très favorisée par rapport au Languedoc, et les touristes y bénéficient de la concentration des averses; mais l'examen de la durée réelle des précipitations contredit cette première observation, et à Nice, station touristique réputée, la durée horaire moyenne est la plus longue. Replacés dans l'ensemble méridional français, la Provence orientale appartient à la catégorie "moyenne" (600 heures), et le Languedoc à la catégorie "inférieure" (400 heures), (Fig. 1.2).

Sur la côte provençale, la durée des précipitations s'accroît d'ouest en est, augmentation imprécise, car le réseau des stations n'est pas assez dense. En Languedoc, aucune conclusion formelle ne peut être avancée, bien que la durée des précipitations semble augmenter vers le sud.

Le schéma saisonnier (Fig. 1.3) est méditerranéen avec un double maximum de printemps et d'automne, et un été sec aux pluies brèves. Cependant, ce schéma classique varie; à Montpellier, station témoin du Languedoc,

- (3) Les Midis "humides" reçoivent plus de 800 mm par an, en moyenne. Ils comprennent l'Aquitaine, sauf le toulousain sec et le pays basque très humide, le Languedoc, la Provence orientale et le comté de Nice.

mars a la plus forte moyenne mensuelle horaire, 59 heures en décembre, mois le plus arrosé. La durée des pluies printanières est donc comparable à celle des précipitations d'automne et du début de l'hiver. Le creux de janvier-février n'existe pratiquement pas, et la durée moyenne de ces mois est supérieure à celle de novembre.

Sur le littoral provençal, le régime méditerranéen apparaît plus clairement. La durée des précipitations estivales demeure constante sur tout le littoral, mais les excès printaniers, et plus encore ceux d'automne se renforcent à l'est sur la Côte-d'Azur. Après le maximum brutal de novembre, les quatre mois suivants enregistrent des durées identiques; comme en Languedoc, le minimum des hauteurs, en janvier-février, n'a pas de correspondant en durée.

- Plaines et plateaux aquitains.

En Aquitaine, les variations spatiales de la durée des précipitations sont moins prononcées. Certes, les jours pluvieux sont plus nombreux sur la côte atlantique, mais l'écart est médiocre avec les postes intérieurs du Quercy ou du Périgord, et surtout, il s'efface pour les durées horaires. Ni l'altitude, ni la latitude ne semblent influencer la durée annuelle, comprise entre 750 et 850 heures pour la plupart des stations, sauf celle de Cazaux, accident difficilement explicable.

Le modèle saisonnier est simple (Fig. 1.3). Le maximum secondaire de printemps affecte peu l'allure générale des courbes, et l'opposition entre les pluies durables d'hiver-printemps et les précipitations plus courtes de mai à octobre devient essentielle. Le minimum est en juillet et le maximum en décembre, mais comme sur le littoral basque, janvier est très longuement arrosé.

1-2-1-3 Durée moyenne dans les Midis "secs".

- Les pays toulousains

Dans les plaines "sèches" de l'Aquitaine, la concentration des pluies est plus grande que dans le reste du sud-ouest, observation non confirmée par l'examen des durées réelles. A Toulouse, la durée annuelle est légèrement inférieure à celle de Bordeaux, mais 865 heures à Saint-Girons est la durée annuelle maximum enregistrée.

Les variations saisonnières de la durée sont plus simples que celles des hauteurs (Fig. 1.3). Comme dans l'ensemble du domaine aquitain, le décalage hivernal sur janvier est remarquable. Les deux maxima pluviométriques de mai-juin et d'août-septembre n'apparaissent pas sur les graphiques saisonniers. La disharmonie entre régime des hauteurs et régime des durées est très accusée, même si en octobre une stagnation des durées correspond partiellement à des hauteurs moindres. En décembre une fois encore, se place le maximum, mais novembre, au second rang, devance janvier.

- Le Roussillon et le delta rhodanien

Le premier caractère commun à ces deux régions sèches est leur manque d'originalité dans l'ensemble méditerranéen. Que le paramètre soit le nombre de jours pluvieux ou la durée horaire, rien n'indique une infériorité de ces régions. Le bas-Rhône, où les durées sont faibles, est intégré au troisième groupe (400 heures), mais en Roussillon les durées horaires sont nettement supérieures; à Perpignan, la durée annuelle est égale à celle de Nice, beaucoup plus arrosé. A l'intérieur, la durée s'accroît, mais de façon modérée, sauf dans le bas-Rhône où l'écart entre Marignane et Montélimar dé-

passé deux cents heures.

Les schémas saisonniers sont semblables (Fig. 1.3); le maximum d'automne, décalé sur décembre, est peu accentué par rapport à celui du printemps, en mars. Le décalage hivernal est caractéristique comme dans les régions voisines; partout le minimum de janvier-février s'efface.

1-2-1-4 Les lois de distribution des durées horaires moyennes.

La détermination des lois de distribution a été faite à partir de séries de quinze données, nombre faible pour calculer B_1 et B_2 . Les résultats obtenus sujets à discussions comportent une marge d'erreur, mais ils sont cependant instructifs.

Les durées annuelles horaires s'ordonnent suivant une loi de Gauss, dans l'ensemble des Midis. En effet, B_1 est toujours très proche de 0, témoignage probant d'une courbe en cloche très peu dissymétrique, donc normale. Les valeurs de B_2 sont plus dispersées autour de 3, mais les écarts ne sont pas excessifs et les durées horaires obéissent bien à une distribution gaussienne.

A l'échelle des mois, la variabilité des coefficients est plus grande, mais la plupart des valeurs calculées de B_1 , comprises entre -0,50 et + 0,50, témoignent d'une forte symétrie des courbes autour de la moyenne. Actuellement, il est difficile de choisir entre un modèle gaussien ou une loi gamma (TAB. 1.1).

La dissymétrie, toujours positive, est surtout nette en été, notamment en juillet, quand des durées très faibles sont enregistrées; cette observation est surtout caractéristique des stations aquitaines; en été, les durées ne s'ordonnent pas suivant une courbe en cloche, les valeurs de B_2 sont très éloignées de 3.

Le second trait original est la dissymétrie négative, toujours relevée en mars, dans les stations du sud-ouest. Cette règle caractérise aussi les durées printanières en Méditerranée, le plus souvent en avril; d'autre part, elle est moins absolue, les régions à l'ouest du Rhône constituant une exception.

Dernier caractère, le rapport existant entre la loi de distribution supposée et la valeur des durées moyennes. En Aquitaine, le schéma gaussien paraît d'autant meilleur que les durées sont fortes. Dans les régions méditerranéennes, cette liaison n'existe pas du tout, notamment en Roussillon et en Provence orientale.

CONCLUSION :

Cette première analyse des durées moyennes confirme certaines idées déjà anciennes, et parmi elles, la plus classique : les précipitations durent plus longtemps en Aquitaine. Plus neuves sont les conclusions suivantes :

- Les durées annuelles moyennes s'ordonnent suivant une loi de Gauss. Les modèles mensuels sont moins évidents, mais dans la majorité des cas la loi gamma incomplète, et peut-être même la loi normale conviennent parfaitement pour rendre compte de la réalité. Seul juillet fait véritablement exception.

Les variations spatiales de la durée horaire, très faibles dans le sud-ouest à l'échelle régionale, sont plus marquées mais modérées sur les rivages méditerranéens. La variabilité spatiale des durées est donc plus faible que celle des autres éléments du complexe pluviométrique (Fig. 1.8).

Les régimes saisonniers des durées horaires sont simples : un maximum de saison froide se prolonge à la fin de l'hiver et au début du printemps. Le creux esti-

val est limité à juillet. Sur les rivages méditerranéens, le second maximum printanier est très marqué, parfois même supérieur à celui d'hiver, notamment à l'ouest du Rhône. En Aquitaine, le printemps prolonge l'hiver, et on peut donc supposer une liaison plus intense avec la marche des températures qu'avec le régime des hauteurs.

Dans le sud-ouest, les erreurs relatives sont peut-être plus grandes que la variation régionale, mais dans le domaine méditerranée, le Roussillon est un province originale. Les pluies persistantes semblent plus fréquentes et la thèse de G. Viers n'est donc pas sans fondement, même si elle est limitée spatialement; seule une analyse fréquentielle précise des types de durées permet de conclure.

1-2-2 ANALYSE FREQUENTIELLE DES TYPES DE DUREES

L'analyse fréquentielle des types de durées résulte du dépouillement exhaustif de toutes les averses recueillies en dix ans, dans les stations où sont installés des pluviographes enregistreurs.

1-2-2-1 Les schémas annuels.

Les schémas annuels moyens attestent la supériorité du nombre de chutes dans les stations d'Aquitaine. En retenant l'intervalle d'une heure, on dénombre trois fois plus d'averses à Bordeaux qu'à Nice; Biarritz occupe le premier rang avec plus de cinq cents enregistrements par an en moyenne. Très souvent, trois ou quatre averses, parfois plus, sont recueillies en vingt quatre heures sur le côte atlantique.

Avec un intervalle de six heures entre deux précipitations, le schéma général reste identique; la primauté du Midi aquitain demeure, mais les rapports sont

différents. Le nombre d'averses dénombrées en Aquitaine reste élevé, malgré une baisse très sensible. Sur les rivages méditerranéens, l'écart entre les deux séries statistiques est moindre. Les observations sur la répartition temporelle des chutes en Aquitaine, sont ainsi confirmées : discontinues, elles tombent en séries très rapprochées. Dans les stations méditerranéennes, les variations entre les deux séries sont moindres. Les écarts maxima sont relevés dans les postes arrosés du Languedoc et des Alpes-Maritimes; à Nice par exemple, la moyenne annuelle décroît de 164 à 98 averses.

Les variations régionales du nombre annuel moyen d'averses correspondent sensiblement au régime des hauteurs annuelles, du moins en Aquitaine. Plus les hauteurs de pluies mesurées sont élevées, plus le nombre d'averses est grand, et le pays basque est la région la plus fréquemment arrosée. Ce caractère persiste au nord de l'Adour, plus de quatre cent soixante chutes à Bordeaux. Une corrélation, non rigoureusement linéaire, unit le nombre des précipitations et les hauteurs annuelles.

Sur les terroirs intérieurs de la moyenne Garonne et du piémont pyrénéen les abats d'eau, moins fréquents, sont compris entre 300 et 350 par an. En outre, l'écart entre les deux séries statistiques est moins ample que dans les stations côtières; à Saint-Girons et Toulouse, les totaux des deux séries oscillent entre 210 et 360 chutes recensées. Le caractère fragmenté des précipitations est donc moins prononcé en Aquitaine centrale.

Sur le littoral méditerranéen, les variations spatiales, plus irrégulières, différencient des provinces. Aucune corrélation statistique ne lie la hauteur annuelle des précipitations et la fréquence des durées des

averses, mais surtout il ne paraît pas exister de liens réguliers et directs entre la durée réelle annuelle et les types de durées. En effet, sur les basses plaines catalanes, les précipitations, plus nombreuses, correspondent parfaitement au maximum annuel voisin de 600 heures, mais sur la côte d'Azur, où les durées annuelles sont longues, le nombre de chutes ne dépasse pas 170. A partir du bas-Rhône, où les averses sont les moins nombreuses, les fréquences croissent vers les deux extrémités, orientales et occidentales. Ce schéma s'apparente à celui des durées annuelles moyennes, mais la superposition n'est pas parfaite, notamment en Provence orientale où s'esquisse une disharmonie. Sur les rivages méditerranéens, quelle que soit la série statistique, les corrélations, non vérifiées à l'échelle du domaine, existent peut-être à l'échelle des provinces, mais le nombre de stations équipées de pluviographes enregistreurs est insuffisant pour formuler des lois.

L'analyse fréquentielle des différentes averses classées (4) suivant leur durée, témoigne de l'unité du domaine aquitain, où seules quelques petites nuances apparaissent. Dans toutes les stations, les durées médianes sont comprises entre une et deux heures; une chute sur deux dure plus d'une heure.

Les pluies brèves et moyennes sont également représentées dans toutes les stations, côtières ou continentales. La majorité des précipitations, environ un

(4) Il a été procédé dans le texte et sur les schémas à un regroupement de classes.

0,1'	-	20'	= brève averse
21'	-	1 heure	= averse de courte durée
1h01	-	8 heures	= durée moyenne
	>	8 heures	= pluies persistantes

Comme pour toute division en classes, il est tenu compte de la règle de Brooks et de la loi d'organisation des durées des précipitations.

tiers, ont une durée comprise entre une et quatre heures. Dans les plaines intérieures, ces pluies sont les plus fréquentes, 38 % à Toulouse et Tarbes.

Les pluies persistantes, nombreuses, ont une fréquence relative toujours inférieure à 10 % (Fig. 1.4). Cependant, plus de cinq averses annuelles dépassent vingt quatre heures dans toutes les stations aquitaines, pour trois seulement à Perpignan, station méditerranéenne la plus favorisée.

Les variations spatiales sont peu accusées, surtout pour les fréquences relatives, car les écarts absolus peuvent être considérables; 146 averses brèves à Bordeaux et seulement 81 à Toulouse, presque deux fois moins. De la côte à l'intérieur, les pluies brèves se raréfient tandis qu'augmentent les averses durables. L'influence continentale semble donc se traduire par une augmentation des pluies durables, caractère qui contredit la plupart des observations "réalistes" des géographes. En fait sur les côtes, les crachins sont souvent divisés en plusieurs averses séparées par une heure au moins de temps très couvert. Quand deux pluies séparées par un intervalle de cinq minutes sont discontinues, cette observation est confirmée, et inversement dans la série statistique où l'intervalle est six heures, les oppositions tendent à s'estomper.

Les variations en latitude sont pratiquement inexistantes sur le littoral atlantique, bien qu'à Biarritz les longues averses soient nombreuses. Cette augmentation relative des pluies durables vers le sud est plus marquée dans les stations intérieures, par exemple entre Agen et Tarbes.

Dans les régions méditerranéennes, les oppositions sont plus prononcées. Les pluies très brèves, moins fréquentes, forment souvent moins du quart des précipitations. Inversement, les pluies durables, moins nombreu-

ses qu'en Aquitaine, donnent cependant un pourcentage supérieur.

Le bas-Rhône, les plateaux languedociens, et la Provence centrale forment un premier sous-ensemble qui a des caractères communs avec l'ensemble aquitain; une légère infériorité des brèves ondées et une augmentation relative des averses persistantes, sont les deux seules nuances décelables.

Le Roussillon est la province la plus originale; dans cette région très sèche, les précipitations sont tantôt très brèves, tantôt au contraire fort longues. A Perpignan, un tiers des pluies durent moins d'une heure, mais un quart environ persistent au-delà de huit heures. Cette originalité est encore plus sensible pour les pluies qui tombent pendant plus de vingt quatre heures; à Perpignan, elles ont une fréquence relative de 7 %, pour moins de 1 % dans toutes les autres stations.

L'hypothèse, maintenant classique, de G. Viers (5) n'est donc pas totalement dépourvue de fondements, mais elle est doublement incomplète. Il existe aussi en Roussillon, comme le pensaient tous les auteurs anciens, des pluies violentes et très brèves; mais surtout, cette hypothèse n'est partiellement vérifiée que pour le Roussillon, affirmation qui illustre le premier caractère climatique du monde méditerranéen : la forte variabilité spatiale. Il est toujours imprudent de généraliser à partir d'observations stationnelles ou régionales.

Plus étonnantes sont les affirmations de J.E. Hermitte (6) qui soutient cette même thèse pour le littoral ligure et le littoral provençal. Sans faire inter-

(5) G. Viers, *Eléments de climatologie* (80).

(6) E. Hermitte, *Contribution à l'étude de la pluviosité, d'automne sur les rivages languedociens, provençaux et ligures* (107).

venir la Riviera gênoise, faute d'avoir dépouillé les données des pluviographes, les résultats fournis pour Marignane où aucune pluie n'a duré plus de vingt quatre heures au cours des cinq dernières années, et où 3 % seulement des pluies ont persisté au-delà de huit heures contre 25 % à Perpignan et 6 % à Toulouse, sont probants. Sur la côte-d'Azur, à Nice-aéroport, 12 % des précipitations durent plus de huit heures, mais 1 % seulement continuent à tomber au-delà de vingt quatre heures. Ces simples fréquences condamnent des hypothèses non démontrées, présentées sous forme de lois.

1-2-2-2 Les nuances saisonnières (Fig. 1.6).

Les distributions saisonnières des types d'averses, surprenantes, contredisent les observations, clairsemées il est vrai, présentées jusqu'à présent. La brièveté des séries n'est pas en cause; à Montpellier et Bordeaux, les dix sept années de relevés disponibles et la décennie 1961-1970 ont les mêmes fréquences et écarts-types.

1-2-2-2-1 Les surprises de l'hiver.

Les durées moyennes en novembre-décembre ne sont pas plus longues qu'en janvier-février; ce caractère réapparaît à l'échelle des averses. Pendant ce bimestre, les pluies persistantes ont une fréquence absolue constante dans toutes les stations; seules les fréquences relatives varient. Parfois, ces pluies durables sont plus nombreuses, notamment en Méditerranée, mais les fréquences relatives sont rarement supérieures à celles de l'année, sauf en Aquitaine septentrionale et centrale; à Saint-Girons les fréquences sont respectivement 10 et 4 %.

TAB 1.2 FREQUENCES RELATIVES MENSUELLES ET ANNUELLES
DES TYPES DE DUREES

		J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
Bordeaux	1	27	25	31	36	37	29	33	34	28	34	32	21	31
	2	21	21	20	19	20	20	26	28	21	23	22	26	22
	3	44	47	39	38	37	47	34	32	41	35	39	40	40
	4	8	7	5	4	3	3	1	2	5	2	3	12	5
Biarritz	1	24	25	24	26	28	24	38	33	29	30	19	31	26
	2	24	23	28	30	31	33	39	25	22	22	20	19	23
	3	48	47	42	38	27	39	33	41	44	42	49	45	44
	4	8	9	6	6	4	3	0	1	5	4	8	7	7
Toulouse	1	19	26	26	26	29	22	42	29	23	18	13	12	25
	2	29	20	22	21	27	29	27	34	26	22	28	23	24
	3	43	49	42	44	42	47	30	35	44	50	49	57	48
	4	8	6	8	8	2	3	1	1	4	3	6	9	6
Perpignan	1	22	10	19	22	14	16	15	25	23	24	18	11	15
	2	24	22	26	24	24	38	39	17	25	22	18	25	24
	3	51	55	49	45	54	44	42	55	48	44	54	50	51
	4	4	13	8	12	9	4	3	2	7	12	10	15	12
Montpellier	1	14	13	19	19	17	33	34	30	36	24	23	17	22
	2	29	18	23	34	35	29	35	32	22	31	23	23	26
	3	41	58	51	42	44	35	30	28	49	40	46	51	43
	4	16	11	7	5	4	3	1	1	3	5	8	9	8
Marignane	1	23	26	20	21	18	32	39	34	27	28	27	21	26
	2	28	16	24	35	28	22	31	32	21	24	12	14	29
	3	42	51	48	40	50	44	31	34	50	42	48	62	41
	4	5	6	8	4	4	2	0	0	2	6	3	3	3
Nice	1	13	14	22	12	19	35	45	29	28	12	10	18	20
	2	24	15	20	24	33	19	24	26	13	19	24	17	24
	3	44	47	41	50	44	39	27	43	54	47	52	47	46
	4	19	16	14	13	4	7	3	2	6	11	14	13	10

Légende : 1 inférieure à 20 minutes
 2 de 20 minutes à 1 heure
 3 de 1 heure à 8 heures
 4 supérieure à 8 heures

Sur les littoraux méditerranéens, l'originalité du Roussillon, évidente à l'échelle annuelle, l'est moins au début de la saison froide; les précipitations persistantes, nombreuses, ont cependant une fréquence relative inférieure à 15 %. Ce déficit est mal compensé par les averses de durée moyenne et la médiane est inférieure à deux heures et demi. Dans les postes provençaux, l'accroissement des pluies persistantes est illustré par le déplacement et la médiane; une averse sur deux, dépasse trois heures dix minutes, en novembre à Nice, mais les pluies persistantes ont une fréquence relative inférieure à 15 %.

La fin de l'automne et les prémices de l'hiver, ne sont pas des périodes où la majorité des pluies persistent. La série statistique, quand l'intervalle de séparation retenu est six heures, n'ajoute rien en faveur de ces hypothèses. Les fréquences relatives des pluies persistantes augmentent dans toutes les stations; inférieures à 30 % en Méditerranée, elles varient entre 34 et 47 % en Aquitaine.

En janvier-février, les hauteurs d'eau mensuelles sont moindres, mais les durées moyennes ne diminuent guère. Le caractère le plus remarquable est une évolution distincte entre les stations aquitaines et méditerranéennes. Dans les postes du sud-ouest, les pluies durables sont moins nombreuses et moins fréquentes qu'en novembre-décembre, notamment en janvier. Les pluies très brèves retrouvent sinon leur primauté du moins un rang honorable, particulièrement en février.

Les variations régionales sont faibles. Sur la côte basque, janvier et février prolongent novembre et décembre. Les écarts décelés sont sans doute plus faibles que les erreurs possibles de dépouillement. A Biarritz, la médiane reste comprise entre deux et trois

heures. Sur la côte d'Argent, les longues pluies, moins nombreuses, ont cependant une fréquence relative supérieure à celle de l'année moyenne; à Bordeaux, en février, une pluie sur deux a une durée supérieure à une heure cinquante minutes, durée médiane mensuelle la plus élevée des deux Midis. Les pluies durables moins nombreuses sont remplacées par des averses de quatre à huit heures.

En Aquitaine centrale, particulièrement sur le piémont pyrénéen, les pluies durables sont plus rares, et le schéma de janvier s'apparente à celui de l'année entière; à Saint-Girons et Toulouse, les médianes mensuelles sont toutes inférieures à deux heures.

Les littoraux méditerranéens, présentent des évolutions plus contrastées; à Perpignan, une accalmie des longues pluies caractérise janvier. Pendant ce mois, Perpignan est la station méridionale aux fréquences relatives les plus faibles de cette classe, 4 %, et la durée médiane dépasse à peine une heure. En février, une évolution inverse s'amorce qui persiste au printemps, les pluies durables représentant entre 10 et 15 % du total des chutes.

Les autres provinces méditerranéennes montrent une dynamique très différente. Les pluies durables, moins nombreuses en valeur absolue, ont cependant des fréquences relatives plus fortes, processus plus sensible à l'approche du comté de Nice. A Nice-aéroport, une averse sur cinq dure plus de huit heures en janvier, mois dont la durée médiane est la plus élevée (trois heures quarante).

1-2-2-2-2 Les caprices printaniers

En mars et avril, les histogrammes et courbes cumulées ne font apparaître aucune originalité sur la

côte atlantique. Dans les stations de Biarritz, Cazaux et Bordeaux, les fréquences relatives sont les mêmes que celles de l'année entière, les écarts de 1 à 2 % n'ayant aucune valeur probante; les durées médianes, elles-mêmes, sont stables.

En Aquitaine centrale, une fréquence plus grande des pluies persistantes, voisine à Toulouse de 10 %, prolonge donc l'évolution de novembre à février. Cette régularité des fréquences relatives, troublée par de rares nuances, est une caractéristique surprenante de ce régime intérieur.

Dans le domaine méditerranéen, en Roussillon, les extrêmes, pluies durables et brèves ondées, ont des fréquences relatives plus élevées qu'en janvier et février, notamment en avril; à Perpignan, ces deux classes représentent environ le tiers des chutes. Le printemps est donc caractérisé par un renforcement des extrêmes, spécialement des averses courtes; un quart des chutes ont une durée comprise entre vingt minutes et une heure.

Dans le bas-Rhône, les pluies persistantes sont très fréquentes; à Marignane, en mars ces pluies sont, sinon les plus nombreuses en valeur absolue, du moins les plus fréquentes en valeur relative. Cette évolution ne modifie pas la durée médiane : les pluies très brèves sont rares, mais les averses de faibles durées sont relativement très fréquentes, et ces deux tendances s'équilibrent.

En Provence orientale, dans le comté de Nice, et en Languedoc, la dynamique s'apparente à celle du Roussillon, du moins pour les courtes averses dont les fréquences relatives s'accroissent par rapport aux schémas annuels et hivernaux. Les pluies persistantes sont encore très fréquentes, 14 % à Nice, et il y a donc bien augmentation des classes extrêmes, surtout celle des pluies brèves.

1-2-2-2-3 Les pluies brèves de l'été.

Le domaine méditerranéen, où sévit la sécheresse d'été, présente un ensemble de caractères communs à toutes les stations : partout les pluies durables sont rares, et leurs fréquences absolues et relatives sont les plus basses de l'année. Cette chute brutale est plus sensible en août qu'en juillet; le schéma de juin, variable suivant les stations, altère l'unité du trimestre.

Le second élément d'altération est la répartition des types de chutes en mai, en deux groupes bien distincts. A l'ouest du Rhône, à Nîmes, Montpellier, Perpignan, mai prolonge le printemps; à Perpignan en mai, 8 % des chutes sont durables pour 9 % en avril. A l'est du Rhône, mai appartient déjà à l'été, et à Nice-aéroport seules 4 % des chutes ont une durée supérieure à huit heures.

En Roussillon et Languedoc, notamment dans les plateaux intérieurs, les pluies persistantes sont rares, près de 5 %. Plus de la moitié des précipitations ont une durée comprise entre une et huit heures. Les pluies très brèves ont une fréquence relative inférieure à celle de l'année moyenne. L'absence de pluie durable ne se traduit donc pas par une forte augmentation des brèves ondées; les pluies de durée moyenne occupent le premier rang.

Le dernier trait paradoxal est la distribution des fréquences en juin : les deux classes extrêmes sont les moins représentées, particulièrement sur le littoral catalan. Cette originalité est peut-être due à la brièveté des séries statistiques.

Dans les plaines du bas-Rhône, la forte sécheresse estivale correspond à une absence totale de pluies persistantes en juillet et en août, et à leur rareté en

juin (seulement quatre relevés supérieurs à huit heures). Les fréquences relatives des trois autres classes sont sensiblement égales; elles sont à peine plus fortes pour les pluies très brèves, sauf en mai quand les averses de durées moyennes dominent. L'absence de précipitations durables s'accompagne donc d'un renforcement relatif des pluies brèves comme en Provence orientale, mais contraire à celle des régions occidentales du domaine méditerranéen.

A l'est du bas-Rhône, les pluies persistantes ne sont pas totalement absentes, notamment à Nice. La durée-médiane de juillet, comprise entre trente cinq et quarante minutes à Nice, est cependant une preuve de cette faiblesse des pluies persistantes. Les pluies très brèves, relativement très fréquentes, représentent plus de 40 % des relevés en juillet. En août, les pluies de durée moyenne se renforcent. D'autre part en juin, les pluies durables sont plus fréquentes qu'en mai et août, second caractère des stations orientales.

En Aquitaine, les précipitations persistantes sont, comme dans les régions méditerranéennes, relativement peu fréquentes, en particulier sur la côte atlantique; les effectifs bruts sont malgré tout supérieurs. Les durées médianes, inférieures à une heure, attestent bien une brièveté généralisée des pluies de saison chaude.

Les variations intermensuelles sont médiocres, aucun écart excessif ne sépare deux mois consécutifs. Mai qui appartient soit au printemps, soit à l'été dans le domaine méditerranéen, est un mois de transition en Aquitaine, notamment sur le littoral. En juin, la faiblesse relative des brèves ondées par rapport aux autres mois est la seule originalité. Les variations régionales ont pour cause essentielle les précipitations persistantes.

Sur la côte atlantique, la rareté des pluies persistantes est un facteur favorable au tourisme estival, spécialement en juillet sur la côte méridionale, au sud de l'Adour. Les trois autres classes sont également représentées avec un très léger avantage pour les pluies de durée moyenne, spécialement en août. Dans les régions intérieures, s'individualise le piémont pyrénéen. Les précipitations durables sont relativement fréquentes, malgré les effectifs bruts médiocres. Cette originalité, au nord de Toulouse, caractérise surtout juin et juillet.

Le second critère de différenciation est l'inégalité des fréquences relatives des trois autres classes. Les brèves ondées représentent à peine le quart des relevés, mais les pluies de durée moyenne sont au contraire très nombreuses, notamment sur le piémont pyrénéen. Cette anomalie explique qu'à Saint-Girons la durée médiane de juillet dépasse deux heures, alors qu'elle atteint seulement une demi-heure à Toulouse. Le blocage des systèmes perturbés contre la montagne pyrénéenne est peut-être la cause de cette différence entre stations "voisines".

1-2-2-2-4 Les disparités de l'automne.

En septembre et octobre, l'augmentation relative des pluies de longue durée est générale, mais variable. Sur les rivages méditerranéens "humides" et en Roussillon, de longues averses apparaissent dès septembre, mais dans toutes les stations leur fréquence relative est inférieure à 10 %; dans le delta du Rhône et dans le pays nîmois, les caractères de l'été s'éternisent en septembre, et à Marignane, les pluies persistantes sont inférieures à 2 %.

En octobre, leur fréquence augmente considérablement, dépasse 10 % en Roussillon et sur la côte-d'Azur.

Les effectifs bruts et les fréquences sont cependant inférieures à celles de novembre-décembre. Les précipitations durables existent donc bien en automne en climat méditerranéen, mais leur fréquence relative, inférieure à 15 %, est moindre qu'en hiver; aussi est-ce une conception erronée des climats méditerranéens que de les faire figurer parmi leurs caractéristiques. Une fois de plus, le géographe est trop sensible aux accidents; seul le traitement statistique dévoile des erreurs grossières.

En Aquitaine, aucune variation régionale ne trouble l'unité générale. Les pluies persistantes, aussi nombreuses qu'en climat méditerranéen, ont des fréquences moindres, et ne dépassent jamais 5 %. Sur la côte d'Argent, les autres classes de durées sont également représentées en octobre. En septembre-octobre, dans les autres régions, et en septembre seulement sur la côte, la part des pluies de durée moyenne est considérable; la valeur élevée des durées médianes, toujours supérieure à une heure, sauf en pays basque, illustre l'importance de ces pluies.

Il est impossible actuellement de procéder à une décomposition des régimes, car la brièveté des séries interdit, en effet, toute extrapolation, et surtout, des comparaisons fructueuses. Le nombre limité d'unités statistiques oblige à choisir un large intervalle de classe pour obéir à la règle de Brooks; l'hypothèse d'équirépartition n'est plus vérifiée.

Conclusions :

L'analyse fréquentielle des durées des précipitations est riche d'enseignements. Les pluies durables sont plus nombreuses en valeur absolue dans le Midi aquitain que dans le Midi méditerranéen; à ne retenir

que les pluies d'une durée supérieure à vingt quatre heures, la primauté des stations aquitaines est manifeste. En valeur relative, à cause d'un nombre plus limité de chutes, les stations de Méditerranée ont des fréquences plus fortes. Certes, le Roussillon est particulièrement privilégié, mais ailleurs les fréquences relatives des pluies durables sont toujours inférieures à 20 %.

La thèse de G. Viers (7) n'est donc pas assez nuancée : il y a certes des chutes de longue durée dans les Pyrénées orientales, mais elles ne sont pas les seules, même si elles contribuent à donner des totaux pluviométriques remarquables. L'appréciation d'E. Benevent sur la violence et la brièveté des précipitations méditerranéennes est mieux vérifiée.

La thèse de J. E. Hermitte (8) est doublement erronée du moins pour les régions étudiées dans cet ouvrage. En effet, des pluies persistantes sont enregistrées très rarement, moins d'une fois sur dix. D'autre part, ce n'est pas en automne que les fréquences relatives de ces pluies persistantes sont maximales à la fin de l'hiver.

En Aquitaine, les précipitations durables montrent partout des variations intermensuelles faibles. Le régime du littoral est simple, avec un maximum d'hiver, en décembre, et un minimum d'été, en juillet. Sauf dans le bas-Rhône, les régimes méditerranéens appartiennent aussi à ce type, mais août est le mois où ces fréquences relatives sont minima. En Aquitaine intérieure et dans le bas-Rhône, les régimes sont de type binaire avec des fréquences maximales au printemps, puis en octobre à Marignane, et en décembre dans le sud-ouest.

(7) G. Viers, *Eléments de climatologie* (80).

(8) J.E. Hermitte, *Contribution à l'étude de la pluviosité sur les rivages languedociens, provençaux et ligures* (107).

Les fréquences relatives des brèves ondées ont une distribution spatiale d'ouest en est sur les rivages méditerranéens; peu fréquentes en Roussillon, en été (20-25 %), elles sont de plus en plus nombreuses aux approches de la frontière italienne. En Aquitaine, aucune variation caractéristique n'est manifeste; tout au plus peut-on souligner la régularité intermensuelle à Bordeaux, mais cela n'est plus vrai à Biarritz. Aucune loi précise ne peut être formulée, du moins à partir des séries trop courtes utilisables.

1.3 LES SEQUENCES PLUVIEUSES

1-3-1 ANALYSE STRUCTURELLE : UNE DISTRIBUTION LOGARITHMIQUE.

Les séquences pluvieuses, regroupement des jours pluvieux, s'ordonnent suivant une loi logarithmique, loi valable pour les schémas annuels et mensuels (Fig 1.7). Pourtant l'ajustement de ces derniers est plus délicat pour les mois d'été, surtout en Méditerranée, car les séquences supérieures à 3-4 jours y sont rares : ce modèle mathématique devient alors imparfait à ses deux extrémités.

D'après cette loi les séquences les plus courtes sont les plus fréquentes, remarque généralisable à l'ensemble de la "zone" tempérée. A l'aide de ce troisième paramètre, certes moins collé à la réalité que les types de durées réelles, il faut bien constater, une fois encore, que les longues pluies méditerranéennes ne sont pas prépondérantes.

La comparaison des deux ensembles de droites démontre que les séquences longues sont rares en Aquitaine; partout elles représentent moins de 10 % du total; elles sont encore moins fréquentes dans les régions méditerranéennes où les séquences de plus de sept jours

consécutifs de pluie ont des fréquences inférieures à 1 %. Le croisement des deux séries de courbes correspond à l'abscisse trois jours : les séquences brèves, inférieures à deux jours, sont très nombreuses en Aquitaine comme en Méditerranée, mais leur fréquence relative est moindre.

A l'échelle non plus des Midis, mais des régions, trois grandes lois peuvent être dégagées. Sur les rivages méditerranéens, les séquences longues sont d'autant plus fréquentes que les stations sont éloignées vers l'ouest de la frontière italienne, et l'originalité du Roussillon apparaît encore car les droites représentatives des autres régions sont sensiblement parallèles.

En Aquitaine, la latitude et l'effet continental introduisent des nuances. Les séquences longues sont plus fréquentes sur le littoral que dans les plaines intérieures; mais l'écart est faible d'autant que l'échelle logarithmique se prête à une déformation visuelle corrigée seulement par l'examen des données brutes. C'est dans le sud du pays basque que les séquences longues sont relativement les plus fréquentes des deux Midis, traduction de l'originalité de ce piémont pyrénéen.

Au niveau des mois, les écarts entre les deux Midis sont plus grands. Les séquences brèves d'un à deux jours représentent toujours la moitié du total dans les postes méditerranéens, avec un maximum d'été, plus particulièrement en juillet. En Aquitaine, ce seuil de 50 % est moins fréquemment atteint et dépassé, et le maximum d'été est décalé en août. Sur les littoraux méditerranéens, au moins 30 % des jours pluvieux appartiennent à cette première classe, taux pratiquement jamais atteint dans les stations du sud-ouest.

Une évolution inverse caractérise les séquences de pluies durables. Sauf exception, leur fréquence demeure

inférieure à 10 % dans les régions méditerranéennes, seuil souvent dépassé en Aquitaine, confirmant ainsi que les pluies ne sont pas durables en Méditerranée; elles sont même pratiquement inexistantes en juillet, car les tranches 4-5 jours et plus de cinq jours ont une fréquence égale ou voisine de 0. Ces séquences sont les plus fréquentes en novembre où plus du quart des jours pluvieux sont ainsi agglomérés. En Aquitaine, le maximum de novembre est remplacé par celui de décembre. Les Midis sont placés sous le signe d'un changement brutal de la fréquence des séquences longues entre octobre et novembre.

A l'échelle régionale, en Aquitaine, les différences sont surtout nettes entre le littoral et l'intérieur. Pour tous les mois, les séquences longues sont plus nombreuses et plus fréquentes à Bordeaux qu'à Toulouse. Cet écart est très accusé pendant la saison chaude, en juillet, août, et même septembre. Au coeur de l'été, les fréquences relatives de ce type sont trois fois plus fortes sur le littoral. Le pays basque est alors un simple prolongement de la côte landaise, sauf en été où ces pluies durables sont plus rares. Pendant la saison froide, l'écart entre le littoral et l'intérieur s'estompe sans jamais disparaître. L'opposition est aussi très nette en février, mois où les hauteurs d'eau recueillies sont faibles, bien qu'assez loin de la véritable sécheresse relative des côtes méditerranéennes.

Sur ces dernières, les nuances spatiales varient presque chaque mois ce qui rend difficile la formulation de lois rigoureuses. A l'est dans le comté de Nice et sur le littoral provençal, les séquences très brèves, toujours très nombreuses, sont prépondérantes, plus de 80 % en été. Sans être négligeables, les pluies courtes sont moins souvent majoritaires à l'ouest du Rhône. La

règle inverse vaut pour les séquences longues, mais l'opposition est cependant peu nette aux saisons intermédiaires. En mars par exemple, le comté de Nice et ses annexes varois sont très originaux par le très grand nombre de pluies courtes. Pour cette même classe d'ailleurs, les trois autres régions se ressemblent. Des observations semblables peuvent être faites en octobre ou novembre, le domaine méditerranéen est toujours plus morcelé en petites unités.

1-3-2 LA PERSISTANCE DES SEQUENCES PLUVIEUSES.

La figure 1.9 illustre un effet de persistance ou autocorrélation temporelle des précipitations groupées en séquences. De nombreux auteurs ont déjà fait des remarques analogues à l'échelle des mois. Les résultats permettent d'émettre des nuances régionales.

A l'échelle de l'année, l'effet de persistance est plus prononcé en Aquitaine qu'en Méditerranée. Autrement dit, c'est en Aquitaine qu'après un jour de pluie, il y a le plus de chance d'avoir un second jour pluvieux, constatation encore contradictoire avec les hypothèses de G. Viers. Le Roussillon n'échappe pas à cette règle, car le coefficient de persistance calculé pour Perpignan est égal à celui de Nîmes et de Marignane. Les différences intrarégionales sont très faibles, et à l'échelle de l'année la distinction de régions à l'intérieur des deux grands domaines, est difficile.

Dans les postes méditerranéens (Fig 1.9), la coupure se fait au niveau des séquences de trois jours. Les séquences observées de un et deux jours sont nettement moins nombreuses que les fréquences théoriques calculées. Au-delà, les séquences observées sont toujours plus nombreuses que les séquences théoriques. En Aquitaine centrale, cette inversion apparaît avec les séquences de six jours; les fréquences absolues observées

TAB 1.3 FREQUENCES RELATIVES DES SEQUENCES
PLUVIEUSES

		J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Bordeaux	1	37	36	29	44	41	49	49	53	43	46	36	33
	2	22	13	32	22	29	26	25	23	31	30	26	26
	3	15	10	14	20	13	12	8	13	14	14	14	9
	4	25	31	25	14	16	12	18	11	11	10	24	33
Biarritz	1	34	37	28	45	44	51	51	52	42	49	39	31
	2	23	12	34	20	31	27	26	24	32	28	22	21
	3	15	9	12	21	13	13	9	14	10	13	15	12
	4	27	33	27	14	12	7	13	10	14	12	23	36
Toulouse	1	46	50	46	34	54	56	55	61	59	54	37	34
	2	23	24	20	37	22	24	27	32	24	25	32	28
	3	16	12	21	20	14	15	13	4	10	13	9	15
	4	16	14	13	9	9	5	5	3	6	7	23	23
Carcassonne	1	47	52	40	37	58	59	58	61	58	56	44	47
	2	24	26	18	34	23	23	29	31	22	26	29	28
	3	15	13	23	21	14	16	9	6	10	11	10	18
	4	14	10	10	8	5	2	3	2	8	6	16	14

—

J F M A M J Jt A S O N D

demeurent toujours inférieures aux fréquences théoriques sur le littoral atlantique. En fait, cette même inversion apparaît pour les séquences de 8,9 ... jours, preuve que l'effet de persistance est plus net en Aquitaine océanique.

TAB. 1. 4 Coefficients de persistance
des séquences pluvieuses.

J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
Bordeaux												
1.9	2.4	2.6	2.1	1.8	1.8	2.0	1.8	1.7	1.9	2.1	2.3	2.0
Biarritz												
1.8	2.6	2.7	2.1	1.9	1.8	2.1	1.7	1.8	1.8	2.2	2.4	2.1
Toulouse												
1.8	1.9	2.8	1.8	1.7	1.8	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8	2.0	2.0
Saint-Girons												
1.6	2.0	2.2	1.6	1.8	1.8	1.6	1.4	1.6	1.9	1.9	2.1	1.9
Perpignan												
1.8	1.9	1.7	1.8	1.7	1.5	1.4	1.4	1.8	1.8	1.6	1.8	1.7
Nîmes												
2.0	1.9	1.9	1.5	1.5	1.6	1.2	1.5	1.7	1.7	1.8	1.5	1.7
Marignane												
1.6	1.6	2.1	1.7	1.7	1.6	1.2	1.5	1.5	1.7	2.3	1.6	1.7
Nice												
1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.6

$$\text{Coefficient} = \frac{\text{longueur observée}}{\text{longueur théorique}}$$

A l'échelle mensuelle, des nuances régionales sont perceptibles. Les fortes valeurs des coefficients de persistance, pendant les saisons pluvieuses, sur le littoral atlantique, sont compréhensibles, mais situation qui intéresse la climatologie touristique, juillet est un autre mois aux longues séquences pluvieuses, carac-

téristique qui disparaît en Aquitaine centrale.

Dans les régions méditerranéennes, le creux estival est toujours apparent, et il est donc très rare que les pluies s'éternisent. Le maximum de novembre-décembre se prolonge souvent en janvier-février. A Nice et Nîmes, en janvier, ces coefficients sont les plus élevés : un jour pluvieux a le plus de chance d'être suivi d'un second jour de pluie. Cela confirme le décalage des pluies de longues durées par rapport aux fortes hauteurs d'eau recueillies. Enfin, la lecture des douze coefficients mensuels ne fait pas apparaître l'originalité du Roussillon.

1-4 LA VARIABILITE DES DUREES.

Après avoir écarté volontairement les autres paramètres trop imprécis, les durées annuelles et saisonnières sont l'objet d'un examen préalable à l'étude de la variabilité des types de durées, menée à partir des données des pluviographes.

1-4-1 LA VARIABILITE ANNUELLE ET SAISONNIERE.

(Fig 1.8)

En règle générale, la variabilité interannuelle des durées est faible; aucun coefficient de variation n'atteint 25 % pour les durées annuelles. Malgré de nombreux accidents, la distribution des durées est plus régulière que celle des intensités et des hauteurs, constatation fondamentale en "climatologie touristique", où la durée importe plus.

Les différences entre l'Aquitaine et le Midi méditerranéen sont peu accusées. Dans le sud-ouest, la durée annuelle des pluies varie peu, et les coefficients de variations sont tous inférieurs à 20 %. Sur les rivages méditerranéens, les écarts-types sont médiocres et

la valeur absolue des paroxysmes est donc faible, bien que la dispersion relative soit plus élevée. Il n'y a pas de liens entre les totaux annuels et ces variabilités, mais des corrélations entre la durée annuelle moyenne et la dispersion peuvent exister.

Sur les littoraux méditerranéens, la variabilité relative est en corrélation négative avec la durée moyenne. Quand les précipitations persistent, comme à Perpignan ou Nice, les irrégularités annuelles sont peu prononcées du moins en valeur relative. Inversement, quand les pluies durent moins, les variations interannuelles s'accroissent. Cette relation, approximativement linéaire, s'ordonne en deux nuages parallèles de points : le premier, correspond aux stations de fronts de mer, et le second, aux postes intérieurs. Un nombre plus grand de données permettrait sans doute de confirmer et de préciser cette loi probabiliste.

En Aquitaine, les relations sont plus floues; une corrélation apparaît bien pour les stations littorales, mais elle est positive; la variabilité est d'autant plus forte que la durée des pluies s'accroît; ainsi Biarritz totalise les écarts relatifs et absolus les plus grands. Ces caractéristiques s'estompent vers l'intérieur. Une moisson plus ample de données précisera ces hypothèses générales.

Les dispersions mensuelles, très supérieures à celle de l'année, indiquent, comme pour les régimes des hauteurs, un effet de compensation entre les différents mois. Les oppositions Midi aquitain et Midi méditerranéen s'amplifient, mais surtout des régimes provinciaux se dessinent très nettement. En pays basque, les coefficients de variations, compris entre 10 et 37 %, augmentent régulièrement de janvier à octobre. C'est en octobre que les durées mensuelles s'écartent le plus de la moyenne, dispersion maximum qui correspond à des pluies brèves. Dans les bassins intérieurs, un maximum

secondaire d'avril donne ainsi un régime de type binaire; cette pointe est liée à des durées moyennes élevées. Une relation positive unit, dans cet extrême sud-ouest, la variabilité et la durée mensuelle moyenne, surtout au printemps, et dans les stations intérieures, tandis qu'en automne la corrélation est négative.

Au nord de l'Adour sur la côte atlantique, un schéma binaire offre deux maxima, l'un au début du printemps en février-mars, le second toujours en octobre. Au printemps, un véritable décalage apparaît, avec en avril une dispersion minimum. Le maximum d'octobre, le plus prononcé, avec des coefficients de variation supérieurs à 30 %, est cependant moins vigoureux que sur la côte basque. Les liens entre coefficients de variation et durées mensuelles moyennes sont nets du moins pour les coefficients les plus faibles, ceux des mois les plus arrosés, notamment avril. Cette corrélation négative s'apparente à celle de l'année bien que moins forte. En effet, les coefficients de corrélation sont minima au début de l'automne, quand les durées sont médiocres, mais supérieures à celles de l'été.

En Aquitaine intérieure, malgré des différences de degré, le modèle reste identique. Le minimum printanier est décalé, et les coefficients de variations ne dépassent pas 12 % en mai-juin; un second minimum se creuse brutalement en novembre, après le maximum d'octobre supérieur à 35 %. Ces oppositions mensuelles, très tranchées, se lisent parfaitement sur les divers graphiques. Aucune corrélation ne relie les durées mensuelles et leur dispersion; le maximum de mars-avril correspond à des pluies durables, mais celui de septembre-octobre à des pluies plus brèves. Les corrélations, négatives ou positives suivant les saisons et même les mois, expliquent l'absence de loi à l'échelle annuelle.

Dans les régions méditerranéennes, les coefficients de variation, rarement inférieurs à 25 %, attestent une

plus forte dispersion. En outre, les variations mensuelles sont très accusées, les courbes très acérées le prouvent : seule la courbe de Carcassonne présente un tracé de type aquitain.

Toutes les stations offrent trois maxima. Le premier, en mars et avril, correspond à des durées moyennes en diminution par rapport au trimestre hivernal. Le second, à peine inférieur au premier, se place en juillet, mois sec où les précipitations durent peu, et dont la variabilité interannuelle ne fait aucun doute. Le troisième, en septembre-octobre, moins prononcé, a lieu comme celui du printemps pendant des mois à pluies persistantes, moins longues cependant qu'en novembre et décembre.

Les nuances régionales ne s'ordonnent pas suivant des règles précises; à Montpellier, station "humide", et à Marignane, station plus sèche, les durées sont les plus irrégulières. Le fait le plus remarquable est l'originalité du Roussillon; à Perpignan, les pluies sont plus durables que dans les autres provinces méditerranéennes, et leur variabilité est plus faible, même à l'échelle mensuelle et saisonnière.

1-4-2 LA VARIABILITE DES TYPES DE DUREES.

La variabilité des types de durées montre deux grandes catégories, très inégalement représentées dans l'espace. En Aquitaine centrale, les pluies les plus longues sont les plus dispersées en valeur absolue et relative, confirmation de tous les caractères déjà signalés. Dans le toulousain, les brèves ondées, peu nombreuses, se répètent chaque année; les pluies persistantes sont plus régulières, surtout à l'échelle de l'année. Dans le cadre saisonnier, ces mêmes règles s'observent, sauf en été, saison aux précipitations très

courtes, et en octobre où les pluies durables sont plus ou moins nombreuses suivant les années.

Dans les autres régions méridionales, la variabilité absolue des pluies très brèves est plus forte que celle des précipitations durables, mais les liens entre types de durée et variabilité relative sont inverses, les averses brutales étant moins dispersées. Des nuances différencient les régions; les coefficients de dispersion absolue et relative sont plus faibles sur le littoral aquitain et à l'ouest du Rhône, qu'en Provence. La variabilité relative est particulièrement faible en Roussillon, où les longues précipitations sont nombreuses. En Languedoc, les coefficients de dispersion se relèvent brutalement sans atteindre la valeur de ceux de la Provence orientale.

Les variations mensuelles sont multiples, mais la brièveté des séries interdit de présenter des règles absolues, sinon quelques tendances qui devront être vérifiées. En été, les pluies brèves sont les plus variables, mais en automne, sauf dans le Roussillon, la dispersion des pluies de longue durée augmente et devient maximum dans certaines stations, telle Nice. A la fin de l'hiver, en janvier et février, la variabilité relative des différents types de durées médiocres est très stable.

L'analyse d'une seconde série statistique, avec des pluies discontinues séparées par une interruption d'au moins deux heures, fait apparaître une décroissance de la variabilité absolue dans toutes les stations, car le nombre de relevés est moindre; inversement, la variabilité relative augmente. Le canevas des variations spatiales et saisonnières n'est pas modifié. En Aquitaine, les pluies persistantes sont cependant moins dispersées, mais l'écart entre les deux coefficients de variation est minime.

CONCLUSION

Sur la durée des précipitations de nombreuses hypothèses ont été présentées, mais sans vérification, peut-être à cause de l'énormité du travail de dépouillement des diagrammes des pluviographes. Les résultats d'une recherche orientée dans cette direction étayent les conclusions suivantes :

Il est faux de prétendre que les pluies sont durables dans les Midis méditerranéens; les hypothèses de nos devanciers n'ont jamais pu être vérifiées, quel que soit le paramètre retenu. Toutes les catégories de durées sont en valeur absolue plus nombreuses en Aquitaine que dans le sud-est méditerranéen. Les pluies brèves et très brèves, majoritaires, représentent toujours plus du tiers des chutes. Ce n'est pas en automne, mais à la fin de l'hiver que les pluies durables sont les plus fréquentes en valeur relative. Ces lois tirées de l'analyse des précipitations après un traitement statistique, font de cette technique le seul recours pour résoudre des problèmes simples. Cependant, le Roussillon et ses annexes forment une petite province originale, les précipitations durables y sont plus fréquentes, sans jamais représenter plus du cinquième des averses.

Les lois des durées varient suivant le paramètre retenu. Les durées totales mensuelles et annuelles s'ordonnent suivant des courbes en cloche plus ou moins symétriques. Les séries dépouillées sont trop courtes pour pouvoir trancher entre loi gaussienne et loi gamma; rien ne permet de penser que le modèle gaussien convienne pour les durées annuelles et la loi gamma pour les durées mensuelles. Les séquences pluvieuses obéissent à une loi logarithmique simple, à l'échelle annuelle et à l'échelle mensuelle, mais ce modèle est moins satisfaisant en été. Pour les durées des averses prises

individuellement, la brièveté des séries est un handicap majeur; en attendant des vérifications ultérieures, les averses réelles s'ordonnent suivant une courbe en I. Pour chaque région et même chaque station, les paramètres de ces lois sont, bien sûr, variables.

Les variations spatiales de l'élément durée sont plus modérées que celles de la hauteur ou de l'intensité, surtout en Aquitaine. Trois provinces sont originales : le Roussillon et le pays basque pour les pluies durables, et les pays toulousains pour la brièveté des averses, laquelle explique sans doute une qualification par de nombreux auteurs de précipitations orageuses.

La variabilité temporelle des durées, très faible, comme les variations spatiales, est un peu plus marquée dans les stations méditerranéennes. A l'exception des pays toulousains, la variabilité absolue des brèves ondées est plus accentuée que celle des pluies durables, moins nombreuses. Il y a donc une relation directement proportionnelle entre les durées et leur variabilité absolue. La règle inverse caractérise la variabilité relative qui est plus forte pour les pluies durables peu fréquentes, même en Aquitaine intérieure.

Toutes ces conclusions n'ont de valeur qu'à l'échelle des deux Midis et de leurs provinces. Des analyses plus fines, sur des séries plus longues peuvent moins apporter des correctifs que de préciser des nuances mensuelles et saisonnières.

CHAPITRE DEUX

L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS

L'intensité, trait fondamental des pluies, intéresse aussi agronomes et hydrauliciens. L'aspect théorique est seul envisagé ici, laissant de côté les multiples applications possibles.

Les géographes, notamment les "régionalistes", dans leur étude du domaine méditerranéen insistent sur la violence des averses dévastatrices en automne: "les précipitations sont extrêmement irrégulières et presque toujours tombent par grosses averses brutales" (1); mais ces fortes intensités observées ne sont pas forcément les plus fréquentes, car trop souvent l'observation géographique est superficielle, faute de confirmation statistique. T. Dubief a démontré qu'au Sahara, les pluies intenses étaient peu fréquentes, bien que de nombreux auteurs aient observé des précipitations violentes et catastrophiques dans le désert (2).

D'autre part à notre connaissance, l'intensité des pluies dans les régions aquitaines n'a pas été l'objet de nombreuses recherches; de rares notes, comme celle de G. Viers sur la trombe d'eau du 5 août 1963 à Biarritz, ne permettent pas de tirer des conclusions définitives (3). De nombreux auteurs souscrivent aux idées de M. Pardé qui réserve son attention aux fortes averses; ainsi il félicite P. Estienne de s'être refusé à décrire les "temps falots, larvaires que personne n'a remar-

(1) P. George, La région du bas-Rhône (105).

(2) T. Dubief, Le climat du Sahara (46).

(3) G. Viers, La trombe d'eau du 5 août 1963 à Biarritz (121).

qué" (4). Si l'hydrologue peut se contenter de l'analyse des averses typiques, le climatologue doit aussi examiner les climats moyens.

2-1 REFLEXIONS METHODOLOGIQUES

L'intensité des pluies peut être mesurée avec différents paramètres; les trois principaux sont : l'intensité moyenne, la hauteur d'eau recueillie en vingt quatre heures, et les intensités réelles.

L'intensité moyenne, rapport mensuel ou annuel, a pour numérateur la hauteur d'eau et pour dénominateur le nombre de jours pluvieux; ce quotient très simple à calculer est cependant très insuffisant et ne permet pas d'émettre, comme l'a démontré Ch. P. Peguy, des conclusions définitives, car l'intensité moyenne n'est pas la plus fréquente et représente donc très mal la réalité (5).

La pluie relevée en vingt quatre heures, un paramètre plus satisfaisant, ne trahit pas le réel, mais demeure cependant imparfait. Les précipitations étant relevées à heure fixe, une chute peut être ainsi tronquée en deux, une partie recueillie le jour i et la seconde mesurée le jour $i + 1$. Cette imperfection apparaît aussi lors du passage d'un mois J au mois $J + 1$. Les ingénieurs hydrologues préfèrent la méthode du Gradex, où ne sont prises en compte que les pluies maxima, mais le problème du tronquage arbitraire des averses ne disparaît pas entièrement. Surtout ce paramètre a l'inconvénient d'être un seuil; s'il convient aux études pratiques, il ne donne pas les lois de dis-

(4) M. Pardé, Le livre de P. Estienne sur le climat du Massif central (59)

(5) Ch. P. Peguy et J. Mounier, Une méthode de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des précipitations en vingt quatre heures (66).

tribution théorique de toutes les intensités, mais seulement celles des paroxysmes. Le paramètre proposé par Ch. P. Peguy et J. Mounier présente un autre inconvénient. Les totaux relevés par les météorologues sont "médiocrement réalistes"; rarement, les pluies dans les Midis tombent sans discontinuité pendant vingt quatre heures; les intensités réelles sont donc le plus souvent sous-évaluées, particulièrement en été.

Pour échapper à ces reproches, il faut analyser les intensités réelles. Pour chaque averse, une intensité moyenne est établie d'après le rapport : total hauteur de l'ondée / durée précise de l'averse. Ces calculs sont faits à partir d'un dépouillement exhaustif des graphiques des pluviographes où les hauteurs et les durées sont exactement représentées; malheureusement la brièveté des séries oblige un choix de classes d'intervalle très grand.

Ces trois paramètres ont été soumis à une analyse statistique classique, chacun avec un certain nombre de variations propres. L'intensité moyenne, indice peu intéressant, n'a pas été l'objet d'un traitement très élaboré; seule la moyenne a été calculée à partir des données présentées par M. Garnier (6). Ces données, arrondies, ont été recensées pour les mois d'été, car le dénominateur est très petit. Sont alors retenus, les hauteurs totales et le nombre de jours exacts pendant vingt ans.

Les pluies en vingt quatre heures sont l'objet d'un traitement fréquentiel classique sur le modèle présenté par Ch. P. Peguy et J. Mounier (7). Mais la

- (6) M. Garnier, Climatologie de la France, sélection de données statistiques (103).
- (7) Ch. P. Peguy et J. Mounier, Une méthode de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des précipitations en vingt quatre heures (66).

loi théorique des distributions étant de la forme :

$$Y = (a X^2 + b X + c) / X$$

la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation ne sont pas très significatifs, du moins pour le géographe; la hauteur journalière médiane, les quartiles et les paramètres de dispersion relatifs à ces paramètres de position, notamment l'intervalle interquartile, sont plus utiles.

Les intensités réelles ont été soumises aux mêmes techniques : après un regroupement des classes, pour chacune d'elles, l'écart-type et le coefficient de variation permettent d'apprécier la dispersion annuelle et mensuelle, dans chaque groupe.

2-2 LES INTENSITES = ANALYSE DES TENDANCES MOYENNES

2-2-1 LOIS DE VARIATIONS SPATIALES DE L'INTENSITE MOYENNE

2-2-1-1 Le schéma annuel

Malgré son imperfection, le calcul de l'intensité moyenne pour vingt deux stations, est à l'origine d'un certain nombre de remarques, hypothèses incomplètes à confirmer ou infirmer.

A l'échelle de l'année, les intensités moyennes sont supérieures dans les stations méditerranéennes, mais aussi dans le pays basque et le piémont pyrénéen; l'intensité moyenne annuelle de Biarritz, 8,3 mm, est dépassée seulement dans les postes septentrionaux du delta rhodanien et en Provence orientale.

L'opposition entre domaine aquitain et régions méditerranéennes est donc d'autant plus accusée que les hauteurs annuelles sont faibles; en Aquitaine océanique,

les coefficients varient entre 5 et 7 mm, et ils oscillent autour de 8-9 mm en Provence. L'écart est plus ample entre le toulousain, pays sec, et les pôles de sécheresse méditerranéens, Roussillon et bas-Rhône; à Toulouse-Blagnac, l'intensité moyenne annuelle 4,7 mm, très faible, corrobore la réfutation de R. Brunet sur la fréquence d'orages dévastateurs : "Contrairement à une opinion fort répandue le climat toulousain n'est pas des plus orageux" (8). Les intensités moyennes, très faibles, débordent à l'est; à Carcassonne, le coefficient est inférieur à celui de Toulouse, semblant suggérer le prolongement de l'influence aquitaine au pied de la Montagne Noire.

Dans les provinces méditerranéennes sèches, les intensités moyennes sont comprises entre 7 et 10 mm; médiocres sur les rivages, elles s'accroissent régulièrement dans les plaines et plateaux intérieurs, en particulier dans le pays nîmois. Les variations spatiales sont intéressantes; les pluies recueillies sur le front de mer sont moins intenses que celles observées dans les postes situés légèrement en retrait des étendues marines, loi commune aux deux domaines.

L'influence continentale se manifeste différemment suivant les régions. Elle semble nulle en Roussillon, mais des études plus fines sont nécessaires pour confirmer cette impression. En Aquitaine, l'effet continental se traduit par une baisse des intensités moyennes; c'est l'inverse sur les littoraux méditerranéens, notamment le delta rhodanien.

2-2-1-2 Les intensités moyennes mensuelles.

Au cours de la saison fraîche, les intensités moyennes, fortes en novembre et décembre, faiblissent nettement en janvier-février. Deux régions échappent à (8) R. Brunet, Les campagnes toulousaines (93).

cette règle, le toulousain où les averses sont moins violentes que la moyenne annuelle, et le Roussillon où des pluies intenses sont recueillies en février. Les pays humides sont soumis aux précipitations les plus brutales : l'indice dépasse 14 mm en Provence, dans les stations de Nice et du Luc, et il est supérieur à 10 mm pour les postes du littoral basque où les intensités moyennes surpassent celles du Midi méditerranéen occidental.

En été, c'est l'inverse, ce qui surprend le Méditerranéen habitué aux orages brutaux et brefs. Dans trois régions la règle de l'affaiblissement des intensités moyennes n'est pas respectée; en toulousain, dans les régions "humides" du Languedoc et de la Côte-d'Azur au sens large, où les pluies sont légèrement plus violentes que la moyenne annuelle; cet écart est cependant très faible.

Les deux saisons intermédiaires sont différentes. En automne, les pluies sont intenses, règle générale pour toutes les stations sauf en toulousain; le bimestre novembre-décembre prolonge l'automne. Au printemps, pas de règle précise, car chaque région se différencie, différenciation variable aussi suivant les mois. Seules des études locales permettraient de déceler des lois.

Une corrélation semble donc exister entre les hauteurs mensuelles et les intensités moyennes; elle mériterait d'être vérifiée (voir chapitre VI).

2-2-2 ANALYSE FREQUENTIELLE DES PRECIPITATIONS TOMBEES EN VINGT QUATRE HEURES

L'étude des intensités moyennes n'est pas totalement inutile, mais elle manque de précision; elle doit

être complétée en suivant la technique préconisée par Ch. P. Peguy et J. Mounier, technique qui a l'avantage de retenir toutes les précipitations journalières. Deux thèmes sont analysés, l'intensité de la pluie par type de chute, et les régimes pluviométriques découpés par tranches d'intensité.

A cause de l'ampleur des relevés à effectuer, douze stations ont été retenues suivant leur distribution géographique. En outre, de nombreux DES secondaires sont consacrés à la Provence tandis que pour le sud-ouest des résultats graphiques sont fournis par H. Schneider (9); malgré une optique de recherche différente, ces travaux constituent un précieux secours pour l'analyse des régimes aquitains.

Une collecte laborieuse permet de dresser des tableaux de fréquence élémentaire. A partir de ces effectifs bruts, relevés pendant vingt ans (1950-69), ont été calculés par ordinateur toute une série de paramètres. Les fréquences relatives cumulées sont illustrées par des courbes pour chaque mois et année, au total vingt six courbes par station. Les trois cent douze schémas obtenus, tracés sur du papier millimétré et non pas sur des graphes à échelle semi-logarithmique et gaussienne ont été regroupés, en retenant seulement les fréquences relatives cumulées du nombre de jours classés suivant leur intensité.

2-2-2-1 Le schéma annuel (Fig 2.1 année).

Dans toutes les stations, sauf Cazaux, les pluies les plus faibles, celle d'une intensité inférieure à 0,5 mm, sont les plus nombreuses, entre 10 et 25 % du total des chutes dans les douze stations. Dans les Mi-

(9) H. Schneider, Esquisse d'un profil pluviométrique de la Gironde à la Méditerranée (118).

dis méditerranéens, sauf à Nice, la fréquence relative est toujours supérieure à 20; elle est au-dessous de 20 % dans le sud-ouest, sauf à Toulouse. Cette première remarque semblerait indiquer que la forte intensité des pluies méditerranéennes est un mythe; mais avant de se prononcer définitivement, il faut examiner toutes les tranches d'intensité.

Pour dresser des bilans comparatifs, une simplification est nécessaire, d'où un regroupement en tranches :

0,1	-	2,5 mm	: pluies de type bruine
2,6	-	5,5 mm	: pluies moyennes
5,6	-	11,5 mm	: pluies fortes
11,6	-	19,5 mm	: pluies très fortes
19,6	-	29,5 mm	: orages et fortes averses
	>	29,5 mm	: averses diluviennes

D'autre part, ont été déterminés graphiquement, sur les schémas fournis par l'ordinateur, la médiane puis les deux quartiles qui comprennent 50 % des observations.

Dans toutes les stations, les pluies de type bruine sont les plus nombreuses. Les petites pluies, comprises entre 0,1 et 2,5 mm, ont une fréquence relative très grande, de 36 % à Pau à 53 % à Carcassonne. Les fréquences relatives calculées pour ces précipitations montrent la supériorité du littoral méditerranéen sur l'Aquitaine. Les fréquences relatives sont très élevées et, de Perpignan à Marignane, voisines de 50 %. La distribution de ces pluies fines dans le domaine méditerranéen appelle deux remarques : elles sont relativement plus nombreuses à l'ouest du Rhône, et leur fréquence diminue vers la frontière italienne. Perpignan enregistre le plus grand nombre de jours recevant ces traces de pluie qui s'évaporent immédiatement en été et ne sont d'aucune utilité pour l'agriculture; à Nice, seules

TAB 2.1 LES HAUTEURS JOURNALIERES
(fréquences relatives).

	Année					
Nice	39	16	17	12	7	8
	3	6	14	16	17	43
Toulon	48	14	15	11	7	6
	5	8	15	18	18	35
Marignane	50	17	14	10	6	4
	7	10	18	22	22	23
Nîmes	48	16	15	10	6	5
	6	9	15	19	19	33
Montpellier	48	16	14	9	6	6
	5	7	14	17	18	40
Perpignan	52	17	15	6	4	5
	7	8	17	14	13	41
Carcassonne	53	20	16	8	3	2
	9	15	24	21	13	16
Légende :	ligne 1 : nombre de jours pluvieux					
	ligne 2 : hauteurs de pluie correspondantes					
	colonne 1: 0,1 - 2,5 mm					
	colonne 2: 2,6 - 5,5 mm					
	colonne 3: 5,6 - 11,5 mm					
	colonne 4: 11,6 - 19,5 mm					
	colonne 5: 19,6 - 29,5 mm					
	colonne 6: > 29,5 mm					

TAB 2.1 LES HAUTEURS JOURNALIERES
(fréquences relatives)
(suite)

	Année					
Toulouse	52	22	17	5	2	1
	11	18	28	19	12	11
Pau	36	20	19	11	6	2
	6	12	23	24	21	14
Biarritz	38	18	21	13	6	4
	5	9	21	25	19	21
Cazaux	43	22	20	11	3	1
	8	15	29	26	13	7
Bordeaux	47	19	18	10	5	2
	8	12	27	24	17	11

Légende :

Ligne 1 : nombre de jours pluvieux
 ligne 2 : hauteurs de pluie correspon-
 dantes
 colonne 1 : 0,1 - 2,5 mm
 colonne 2 : 2,6 - 5,5 mm
 colonne 3 : 5,6 - 11,5 mm
 colonne 4 : 11,6 - 19,5 mm
 colonne 5 : 19,6 - 29,5 mm
 colonne 6 : > 29,5 mm

39 % des chutes sont inférieures ou égales à 2,5 mm.

La fréquence relative des pluies de très faible intensité diminue aussi de la côte vers l'intérieur. A Nîmes, la part de ces pluies (48 %) est moindre qu'à Marignane (50 %) plus proche de la mer. La comparaison entre Nice et Breil (220 m), poste encaissé il est vrai dans la vallée de la Roya, est éloquentes : à Breil, 35 % seulement des chutes journalières sont inférieures à 2,5 mm. Cet écart est dû essentiellement à la faiblesse des précipitations les plus fines de 0,1 à 0,5 mm, qui sont moins nombreuses. L'effet continental se traduit par un léger décalage du maximum vers des précipitations de la tranche d'intensité immédiatement supérieure; à Breil, les pluies de 0,6 à 1,5 mm sont plus fréquentes que celles dont l'intensité est inférieure à 0,6 mm.

Dans le bassin aquitain, ces bruines plus nombreuses en valeur absolue, ont une fréquence relative moindre. Elles sont peu représentées en pays basque, moins de 40 % à Biarritz et Pau qui a la fréquence relative la plus basse des douze stations. Plus au nord, sur la côte landaise, elles sont moins rares et leur fréquence relative oscille entre 40 et 45 %; cet accroissement est donc médiocre. L'Aquitaine occidentale et méridionale occupe le dernier rang pour ces pluies insignifiantes.

Dans les provinces intérieures, en toulousain et ses annexes, la fréquence relative des bruines s'accroît; ainsi, l'effet continental joue en sens inverse des régions méditerranéennes. Sans doute les reliefs moins puissants, n'accentuent pas ici les ascendances dynamiques, mais les pluies de très faible intensité sont plus nombreuses sur les côtes que dans les pays garonnais, preuve qu'il faut toujours analyser les deux fréquences, brutes et relatives.

Ces pluies fines, courantes, entrent pour moins de 10 % dans la composition de la lame d'eau annuelle à la seule exception de Toulouse (11 %). Dans les régions méditerranéennes, où les apports sont plus faibles, le Languedoc et la Provence orientale, Midis "humides", sont particulièrement défavorisés, 3 % à Nice.

En Aquitaine, l'extrême sud-ouest, apparenté aux Midis méditerranéens, reçoit sous forme de bruines 5 à 6 % de son total pluviométrique; leur participation est plus élevée ailleurs, notamment dans les plaines et plateaux intérieurs. Malgré ces nuances, la règle de Ch. P. Peguy reste valable : "Les précipitations les plus fréquentes sont les précipitations les plus faibles" (10).

Les pluies moyennes sont moins fréquentes, toujours moins de 25 %. Les plus courantes appartiennent à la tranche d'intensité inférieure (2,6 - 3,5 mm); souvent leur fréquence égale celle des deux tranches suivantes. Leurs variations spatiales sont peu caractéristiques; certes, les Midis aquitains ont les chutes moyennes les plus nombreuses mais l'écart est réduit avec le Midi méditerranéen. A Cazaux et Toulouse, stations les mieux pourvues, les fréquences relatives atteignent 22 % alors qu'à Toulon, la moins favorisée, elle ne dépasse pas 14 %. Seuls, les tableaux des effectifs bruts, montrent l'évidente supériorité des Midis aquitains.

Dans chaque domaine, les variations spatiales sont moins apparentes pour les pluies moyennes que pour les pluies très fines. Toutes les stations du littoral méditerranéen et des bassins intérieurs, ont des fréquences relatives comprises entre 14 et 17 %. De même, dans

- (10) Ch. P. Peguy et J. Mounier, Une méthode de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des précipitations tombées en vingt quatre heures (66).

le bassin aquitain, Cazaux et Toulouse ont des fréquences rigoureusement égales, 22 %; aucune règle n'est claire, du moins à l'échelle régionale.

Les apports de ces tranches d'intensité, toujours médiocres, sont cependant supérieurs à ceux des brumes, surtout dans les provinces aquitaines. Dans le pays basque et dans l'intérieur, les apports sont deux fois plus élevés; à Pau, la tranche d'intensité 2,6 - 5,5 mm totalise 12 % des précipitations contre 6 % pour la classe 0,1 - 2,5 mm.

Dans les stations méditerranéennes l'apport est modeste, inférieur à 10 %. A Nice et Montpellier, stations les plus arrosées, la part de ces précipitations est la plus faible.

Les pluies fortes n'ont pas une répartition des fréquences tellement différente. Elles sont relativement plus fréquentes dans les Midis aquitains, 21 % des chutes à Biarritz, mais 14 % à Montpellier. Ces pluies fortes regroupent cinq tranches d'intensité; dans toutes les stations les chutes le plus souvent dénombrées sont celles de 5,6 à 6,5 mm et de 9,6 à 11,5 mm. L'intervalle de cette dernière tranche est le double de celle qui la précède; c'est sans doute la cause de cette anomalie qui affecte les courbes ajustées des fréquences relatives.

En Aquitaine, les fortes pluies sont moins fréquentes dans les régions intérieures; la transition est lente, 20 % à Bordeaux, 17 % à Toulouse, et moins encore à Carcassonne. Cet effet continental, très net, ne s'observe pas en Méditerranée : Nîmes, Perpignan ou Marignane ont des fréquences relatives sensiblement égales. La seule variation spatiale typique est la part croissante de ces précipitations dans les régions orientales, 17 % des chutes à Nice.

Ces précipitations fournissent une contribution

variable au total. Dans le sud-ouest, on leur doit au moins un cinquième de la lame d'eau annuelle, parfois plus sur la côte septentrionale. La variation dans l'espace n'est plus ouest-est, mais nord-sud, 29 % des apports à Bordeaux, 28 % à Toulouse, mais seulement 21 % à Biarritz. Leur contribution est relativement moindre en Méditerranée, 14 % à Nice; dans d'autres stations, elle n'est pas supérieure à 20. Malgré tout, à la différence des postes aquitains, la tranche de pluies fortes fournit des totaux relatifs supérieurs à la somme des pluies fines et faibles.

Les pluies très fortes (entre 11,6 et 19,5 mm) ont une distribution spatiale analogue. En Aquitaine, leur fréquence relative diminue nettement de la côte vers l'intérieur, de 13 % à Biarritz à 5 % à Toulouse. Les données brutes confirment ce schéma; en vingt ans, quatre cent quarante neuf chutes sont enregistrées à Biarritz, pour cent soixante quatorze à Toulouse. L'examen des tableaux fait, en outre, apparaître une augmentation absolue de ce type de chute du nord au sud, sur le littoral.

Dans les plaines qui frangent la Méditerranée, la fréquence relative de ces précipitations très fortes augmente d'ouest en est, 6 % à Perpignan, et 12 % à Nice. L'écart entre les effectifs, moins prononcé, est cependant assez fort. A Nice et Biarritz, les fréquences relatives sont du même ordre, 12 et 13 %, mais les totaux absolus sont eux très différents : les cent quatre vingt quinze chutes enregistrées à Nice sont deux fois moins nombreuses qu'à Biarritz.

Les pluies très fortes contribuent au total dans les mêmes proportions que les pluies fortes, un peu moins en Aquitaine, 20 à 26 %, sauf dans le toulousain (19 %), et un peu plus en Méditerranée. Partout l'écart est modéré. C'est dans les plaines du bas-Rhône, et non

plus en Provence orientale, que les fréquences relatives sont les plus élevées, 22 % de la lame annuelle à Marignane, mais seulement 16 % à Nice.

Peu nombreux sont les orages et fortes averses (19,6 à 29,5 mm), partout moins de 10 % des chutes. Les Midis méditerranéens en reçoivent plus souvent, mais l'écart est modéré avec l'Aquitaine, en particulier avec le piémont pyrénéen occidental et la côte basque. L'analyse détaillée des tableaux d'effectifs atténue cette différence, car Biarritz vient en tête avec deux cent dix sept relevée, le double de ceux effectués à Nice. Les précipitations qui donnent des hauteurs d'eau remarquables en vingt quatre heures, ne sont pas rares en Aquitaine, mais elles y sont relativement moins fréquentes que sur le littoral méditerranéen.

A l'intérieur des deux domaines, les caractères déjà abservés pour les tranches d'intensité inférieure, s'affirment une fois de plus. La décroissance des fréquences relatives de la côte atlantique au seuil de Naurouze est caractéristique en Aquitaine; à Toulouse, ces fortes averses ne représentent que 2 % des chutes; en Méditerranée, la croissance des fréquences relatives d'ouest en est est moins régulière, 6 % à Montpellier et seulement 7 % à Nice.

Les apports sont, en Aquitaine, plus étoffés que ceux fournis par les précipitations d'une intensité supérieure à 29,5 mm, mais demeurent inférieurs à ceux des pluies fortes et très fortes. L'écart est médiocre dans le pays basque et ses annexes; à Pau, les fréquences relatives des lames d'eau fournies par les trois catégories de chutes sont respectivement de 23,24 et 21 %. Plus au nord sur la côte, ou dans l'intérieur, l'égalité entre les trois types d'apports s'estompe; à Cazaux, leurs fréquences relatives sont 29, 26 et 13 %. En Méditerranée, la lame d'eau ne correspond pas à un

apport relatif très différent de celui de l'Aquitaine, mais il vient au second rang, derrière les pluies diluviennes.

Les pluies diluviennes ont une distribution spatiale particulière; l'opposition entre les deux Midis prend de l'ampleur; à Cazaux, défavorisé il est vrai, cette catégorie de pluies n'est observée qu'une fois sur cent, contre 8 % à Nice. L'extrême sud-ouest occupe toujours un rang fort honorable, 4 % des chutes à Biarritz. Dans les provinces pluviométriques méditerranéennes, moins dépourvues, les variations spatiales ne sont plus d'ouest en est : les régions les plus arrosées, Provence orientale et bas-Languedoc subissent le plus fréquemment ces orages violents. Le Roussillon et le bas-Rhône, plus secs, ont des fréquences relatives moindres. Donc, l'avantage des deux provinces relativement humides a, semble-t-il, pour origine ces très fortes intensités.

Les apports, médiocres dans le bassin aquitain, ne dépassent jamais 15 %, sauf sur la côte basque. Les grosses pluies, peu nombreuses, donnent une lame d'eau modeste, parfois même négligeable, 7 % à Cazaux contre 8 % pour les bruines. En Méditerranée au contraire, la contribution de ces précipitations est élevée, plus de 40 % des totaux annuels dans les provinces humides et en Roussillon. La violence des pluies dans les régions méditerranéennes ne fait aucun doute, seule leur répartition saisonnière peut prêter à discussion.

Conclusion

L'analyse des schémas représentant les fréquences annuelles entraîne certaines remarques. La pente des courbes est un premier critère : plus elle est forte, plus le regroupement des intensités est important. Les

courbes de Cazaux et Bordeaux ont les pentes les plus raides; sur la côte atlantique, les précipitations de très forte et très faible intensité sont donc rares, caractère d'autant plus net que les stations sont proches du front de mer.

Les deux groupes Toulouse-Carcassonne et Biarritz-Pau ont une pente moins forte; les précipitations fines et diluviennes jouent un rôle plus grand dans le pays basque et en Aquitaine centrale. La divergence des courbes de Toulouse et Carcassonne traduit l'ampleur des pluies diluviennes au pied de la Montagne Noire.

Dans les Midis méditerranéens, les pentes s'affaiblissent encore. Les courbes de Montpellier et Nice, au-dessus de celles de Perpignan et Toulon, soulignent que des pluies d'une intensité donnée sont toujours représentées par des fréquences plus fortes. L'écart entre Nice et Toulon est particulièrement significatif.

2-2-2-2 Les rythmes saisonniers (Fig 2.1 février-juillet).

2-2-2-2-1 Pluies journalières de saison froide.

Les quatre mois de novembre à février sont relativement bien arrosés dans l'ensemble des Midis français; pourtant janvier et février connaissent en Provence orientale une sécheresse relative peu accusée, mais caractéristique. La distribution des intensités (11) de novembre à février, différente de la répartition annuelle, varie aussi dans l'espace.

(11) Pour les besoins de la synthèse, le regroupement est le suivant :

0,1	-	5,5 mm	: pluies fines
5,6	-	19,5 mm	: pluies fortes
	>	19,5 mm	: pluies violentes

TAB 2. 1 FREQUENCES RELATIVES DES PLUIES TOMBÉES
EN VINGT QUATRE HEURES (mois).

	Janvier						Mars					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Nice	46	19	13	10	6	7	39	18	18	12	9	6
	2	4	16	26	18	32	5	8	17	20	25	26
Toulon	52	16	14	10	3	5	47	14	15	13	6	4
	7	8	17	23	10	34	6	8	14	27	22	23
Marignane	59	14	15	8	3	1	53	14	19	9	2	2
	12	12	28	27	17	6	9	12	26	26	10	16
Nîmes	51	20	11	7	7	4	49	17	17	10	5	4
	6	11	15	17	25	26	7	10	21	23	18	20
Montpellier	63	13	10	8	4	3	48	20	12	9	4	5
	11	9	14	23	17	26	7	11	14	19	16	31
Perpignan	65	15	13	5	1	2	53	17	16	5	6	6
	15	14	25	21	8	18	7	9	17	12	19	35
Carcassonne	48	21	20	7	1	0	51	23	17	6	3	1
	11	17	38	24	7	0	10	17	29	20	13	10

Légende :

ligne 1 : nombre de jours pluvieux
 ligne 2 : hauteurs de pluies recueillies
 colonne 1 : 0,1 - 2,5 mm
 colonne 2 : 2,6 - 5,5 mm
 colonne 3 : 5,6 - 11,5 mm
 colonne 4 : 11,6 - 19,5 mm
 colonne 5 : 19,6 - 29,5 mm
 colonne 6 : Supérieur à 29,5 mm

TAB 2.1 - FREQUENCES RELATIVES DES PLUIES TOMBÉES
EN VINGT QUATRE HEURES (mois).

	Janvier						Mars					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Toulouse	49	25	18	5	1	0	46	29	18	6	1	1
	12	23	37	23	4	0	11	25	34	18	4	6
Pau	36	18	23	14	6	2	41	21	21	10	5	1
	6	10	23	31	20	12	7	13	29	25	22	5
Biarritz	35	19	24	14	7	3	44	18	16	17	4	1
	6	10	27	26	21	12	7	10	19	38	17	9
Cazaux	39	25	20	13	4	0	43	28	19	5	1	0
	7	16	28	33	13	0	11	24	38	19	6	0
Bordeaux	43	21	18	13	4	1	47	22	20	9	2	1
	8	13	24	31	16	8	9	18	33	24	12	5
	Mai						juillet					
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nice	55	16	16	5	2	4	46	16	16	10	4	8
	8	10	24	17	13	30	4	6	13	14	11	51
Toulon	53	17	13	8	8	4	61	18	15	0	2	2
	7	11	13	19	26	23	14	16	35	0	16	21
Marignane	58	15	11	9	4	4	57	13	19	8	4	0
	10	10	15	20	20	26	9	12	33	26	20	0
Nîmes	50	17	14	8	5	6	52	11	16	11	6	2
	7	10	16	14	17	38	8	7	22	27	20	16

TAB 2.1 - FREQUENCES RELATIVES DES PLUIES TOMBEES
EN VINGT QUATRE HEURES (mois).

	Mai						juillet					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Montpellier	49	17	11	10	7	6	55	18	14	6	7	1
	7	8	12	20	20	33	8	14	20	17	32	7
Perpignan	52	20	15	8	4	2	57	16	18	7	2	3
	8	12	20	21	16	23	11	11	27	19	9	22
Carcassonne	53	18	15	6	5	1	58	17	13	7	3	1
	9	14	23	21	23	8	12	15	22	29	19	5
Toulouse	46	21	20	7	3	1	56	20	12	7	3	3
	9	16	31	22	15	8	10	16	19	19	10	27
Pau	43	19	20	9	5	2	57	23	11	4	4	1
	6	11	26	22	21	14	13	18	19	16	23	10
Biarritz	41	20	15	15	6	1	52	21	17	6	2	0
	6	12	19	36	21	6	10	17	31	20	12	9
Cazaux	53	24	16	6	1	0	59	20	15	7	2	0
	12	22	34	21	7	4	16	19	30	24	10	0
Bordeaux	51	21	16	8	2	1	58	19	9	9	2	2
	11	19	31	23	9	8	11	15	17	29	14	14

En Aquitaine, les pluies fines sont relativement peu nombreuses, particulièrement pendant les mois humides de novembre et décembre. Les apports, déjà faibles sur l'année, sont alors dérisoires : à Cazaux, aucun des quatre totaux mensuels ne donne plus de 10 % des pluies; seule Toulouse a des fréquences relatives de bruines constantes. Les précipitations fortes, relativement nombreuses, 30 à 50 % des chutes, sont au premier rang dans la majorité des stations; les apports fournis, considérables, dépassent souvent 60 % du module mensuel. Les averses violentes et diluviennes ne sont pas plus fréquentes; elles sont les moins nombreuses sur le littoral atlantique, surtout en janvier-février, mois où la pluviosité marque un répit.

Sur les bordures méditerranéennes, les précipitations fines sont plus nombreuses, particulièrement en janvier, mois où 65 % des chutes de ce type donnent 15 % des apports, pourcentage exceptionnel pour cette catégorie de précipitations. Les averses violentes, très fréquentes en novembre et décembre, donnent parfois plus de la moitié des lames d'eau, notamment dans les bassins intérieurs à l'est du Rhône. En janvier et février, plus rares, leur apport est parfois négligeable, 18 % en février. Les tranches d'intensité journalière intermédiaires ont une fréquence à peine inférieure à celle de l'année. L'opposition entre novembre-décembre, où les pluies fortes sont relativement fréquentes, et janvier-février, où elles le sont moins, n'est pas aussi marquée que pour les averses diluviennes, à l'exception de quelques stations.

En novembre, la hauteur journalière médiane dépasse 5 mm à Marignane, Nice et Biarritz; dans ces deux dernières stations, une pluie sur quatre donne plus de 15 mm. Au coeur du bassin aquitain, et sur la côte méditerranéenne occidentale, les pluies violentes sont

plus rares, une fois sur deux inférieures à 3 mm.

Dans toute l'Aquitaine, sauf le toulousain, les hauteurs médianes de décembre sont supérieures à celles de l'année; il en est de même pour le quartile supérieur, et Toulouse n'échappe plus à la règle. Les fortes pluies sont donc relativement plus nombreuses en décembre. Sur le littoral méditerranéen, s'opposent les deux extrémités occidentales et orientales. En Roussillon et Languedoc, médianes et quartiles supérieurs n'atteignent pas la valeur moyenne annuelle, confirmant le rôle grandissant des pluies fines; à l'est du Rhône, les hauteurs médianes légèrement supérieures, les quartiles supérieurs inchangés, montrent que décembre s'apparente bien à l'année.

L'analyse des hauteurs journalières médianes de janvier indique des nuances en Aquitaine; elles sont supérieures à la médiane annuelle dans le pays basque, le piémont pyrénéen, mais aussi dans les campagnes toulousaines. Cette légère progression de la médiane est due à des pluies fortes qui compensent une atténuation des averses diluviennes. En Méditerranée, médiane et troisième quartile, inférieurs à ceux de l'année, confirment un affaiblissement relatif des violentes averses.

En février, les violentes averses se renforcent à l'ouest du Rhône, et les apports correspondants sont supérieurs à 50 % dans toutes les stations; leur part augmente d'est en ouest, pour atteindre un maximum à Perpignan. Malgré un rôle moins efficace des pluies fortes, la hauteur journalière médiane, élevée, dépasse 3 mm dans toutes les stations, sauf Nîmes. A l'est du Rhône, l'intensité médiane est supérieure à celle de l'année, notamment à Nice. En Aquitaine, le déficit des pluies diluviennes de janvier se prolonge en février. Les pluies fortes, dont l'importance relative s'accroît, compensent cette perte.

2-2-2-2-2 Les pluies journalières de printemps

Au printemps, l'augmentation des pluies fines est générale, en Aquitaine, elles donnent plus de 20 % des lames d'eau mensuelles, et sur les rivages méditerranéens, de 15 à 20 %. Les pluies violentes, comparables à celles de l'automne, sont presque totalement absentes; cependant, si les fréquences sont négligeables, les apports dépassent encore 40 % du module mensuel, en particulier dans l'est méditerranéen. Les pluies fortes sont en progrès par rapport à l'année, plus de 50 % des totaux en Aquitaine; à l'intérieur de cette classe, les différentes tranches d'intensité ne sont pas également représentées, entraînant une diversité des régimes.

Les divers paramètres, fréquences cumulées, médianes et quartiles soulignent l'atténuation des pluies violentes. La convexité des courbes s'accélère dans la zone des fortes intensités, surtout dans les stations du front de mer, comme Biarritz et Nice; à l'intérieur, cette convexité, moins nette, disparaît même à Toulouse, où les pluies diluviennes sont encore fréquentes. Au printemps, le regain de pluviosité, n'est pas la conséquence de pluies copieuses, sauf partiellement en Aquitaine centrale.

2-2-2-2-3 Les intensités journalières en été

L'été est une marqueterie de mois humides, comme mai et juin en Aquitaine centrale, et de mois très secs, notamment juillet. Quelques règles sont cependant communes à ces mois chauds.

De mai à août, les pluies fines sont les plus nombreuses dans toutes les stations, sauf Toulouse. Les bruines représentent à elles seules, plus de 50 % des chutes, 79 % à Cazaux et Toulon en juillet. L'accrois-

sement plus net pour les tranches d'intensité les plus médiocres, entraîne la relative stagnation des apports, sauf sur la côte atlantique, où les pluies fines donnent 30 % des lames d'eau mensuelles.

Les fortes pluies sont relativement moins nombreuses, sauf dans quelques stations du Roussillon. En Aquitaine, ce déficit affecte toutes les tranches d'intensité; l'axe garonnais est la seule exception, et les pluies très fortes y sont même, certains mois, plus fréquentes. Sur le littoral méditerranéen occidental la dégradation, limitée, atteint toutes les tranches d'intensité. En Provence, spécialement sur le littoral varois, les pluies très fortes se raréfient, compensées par les classes d'intensité immédiatement inférieures.

Ces fortes averses fournissent cependant des totaux appréciables, plus de 50 % des modules mensuels dans les stations littorales et intérieures de l'Aquitaine. Les apports diminuent légèrement vers le sud, et à Biarritz, sauf en juillet, ils ne constituent pas la moitié des lames d'eau mensuelles. En Méditerranée, la diversité est de règle; à Marignane, les pluies fortes fournissent des apports considérables, mais à Nîmes et en Provence orientale l'écart est faible par rapport à l'année. Ces pluies ont un rôle d'autant plus grand que la pluviosité est faible.

Les violentes averses sont exceptionnelles en été, et dans toutes les stations leur fréquence décroît, rarement plus de 10 %, même sur les rivages méditerranéens. Le toulousain et la côte-d'Azur sont deux exceptions où des orages relativement plus nombreux tombent. Les apports sont médiocres dans toutes les stations, moins de 20 % sur la côte atlantique septentrionale, et le seuil 50 % est rarement atteint. En outre, ces averses diluviennes sont plus fréquentes dans les stations intérieures. La diversité méditerranéenne est aussi accentuée par des fréquences plus fortes dans les Midis

"humides".

- mai : mois pluvieux

Mai est copieusement arrosé sur l'ensemble des Midis. Sur le littoral méditerranéen, du Languedoc à l'Estérel, les intensités journalières sont équivalentes à celles de l'année, comme en témoignent les médianes et quartiles; l'augmentation des pluies fines est à peine marquée. L'atténuation prononcée des violentes averses est une caractéristique commune au Roussillon et au comté de Nice; à Nice et Perpignan elles représentent seulement 6 % des chutes, et donnent moins de la moitié du module mensuel. L'augmentation des pluies fines, faible en Roussillon, est forte sur le littoral niçois où 35 % des averses sont des bruines.

Les fréquences en Aquitaine océanique sont semblables à celles de la côte-d'Azur, prépondérance des pluies fines, averses violentes rares qui ne fournissent jamais plus de 20 % du module mensuel, et pluies intermédiaires qui donnent des hauteurs d'eau considérables. En Aquitaine centrale, les pluies fines régressent, contrairement aux autres régions; les averses diluviennes, plus fréquentes, ne donnent pas des hauteurs records; le premier rang est occupé par les pluies fortes qui fournissent plus de 50 % des hauteurs d'eau.

- juillet : mois sec

En Aquitaine intérieure et sur la côte azurée, les violentes averses sont caractéristiques; à Toulouse, la fréquence relative est le double de la fréquence annuelle. Cependant, les apports inférieurs à 30 % soulignent la modération de ces précipitations. Sur la côte-d'Azur, les fréquences n'évoluent pas, mais l'intensité des pluies diluviennes s'accroît et elles

fournissent plus de 60 % des lames d'eau. Le renforcement des pluies fines est un second caractère commun aux deux régions.

Ces pluies fines sont très fréquentes dans toutes les stations, notamment les bruines qui se hissent au premier rang sur l'Atlantique. Les averses violentes sont très rares, parfois inexistantes, aucune pluie supérieure à 30 mm à Cazaux en vingt ans.

2-2-2-2-4 Les intensités journalières en automne

Septembre et octobre sont pluvieux dans la plupart des provinces climatiques méridionales. La répartition des catégories d'intensité présente des traits communs, mais le plus important est la diversité, notamment en Méditerranée.

Les pluies fines ne sont pas totalement absentes, mais leur présence est symbolique, et en Méditerranée, les apports dus aux bruines sont pratiquement nuls. Les pluies fortes sont à peine moins fréquentes que pendant l'année entière, mais l'écart est très faible. Sur la côte atlantique elles donnent encore 50 % de la hauteur mensuelle, notamment en octobre. Les averses torrentielles, à l'origine des crues dévastatrices, sont la principale caractéristique du régime d'automne; leur fréquence relative reste médiocre, mais les apports sont considérables, près de 50 % en Aquitaine, mais plus des trois quarts en Méditerranée.

En automne, spécialement en octobre, les courbes de fréquences cumulées, tracées sur la partie haute des schémas, indiquent l'abondance des précipitations sur l'ensemble des Midis, le toulousain excepté. En Aquitaine, la diminution des pluies vers l'intérieur est rapide, car les courbes de stations voisines sont très espacées.

TAB 2.1 - FREQUENCES RELATIVES DES PLUIES TOMBEES
EN VINGT QUATRE HEURES (mois).

	Septembre						Novembre					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Nice	35	16	15	9	6	19	25	19	16	12	10	17
	2	4	8	10	11	65	2	5	10	12	16	56
Toulon	43	11	16	11	6	13	42	15	15	13	10	8
	3	4	11	16	13	52	4	6	14	20	27	30
Marignane	41	17	11	15	8	9	41	15	18	12	11	3
	4	6	8	22	18	43	5	6	18	22	30	18
Nîmes	35	13	19	13	5	13	54	9	15	9	7	9
	2	5	12	16	10	52	6	5	14	16	20	41
Montpellier	34	14	15	10	10	5	47	14	16	8	5	10
	2	4	8	10	16	62	4	5	10	16	19	45
Perpignan	48	15	14	6	8	6	50	13	15	8	4	10
	4	5	11	10	21	47	6	6	13	12	11	54
Carcassonne	37	17	13	7	0	5	56	21	14	3	2	2
	10	11	21	20	2	37	10	17	26	9	12	26

TAB 2.1 FREQUENCES RELATIVES DES PLUIES TOMBEES
EN VINGT QUATRE HEURES (mois).

	Septembre						Novembre					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Toulouse	40 9	24 17	15 19	3 10	5 22	3 23	50 11	26 25	16 27	4 14	2 11	1 11
Pau	40 6	22 14	19 25	10 25	5 16	3 16	45 7	16 9	19 21	12 24	6 23	3 14
Biarritz	34 3	19 7	18 12	15 24	6 15	8 38	27 3	18 7	21 15	18 26	10 23	7 37
Cazaux	45 8	20 11	17 20	11 24	5 18	3 20	37 5	19 11	25 31	11 25	5 20	2 7
Bordeaux	42 7	23 13	21 26	6 12	5 23	3 18	42 7	19 12	19 24	15 32	5 20	1 6

Dans les Midis méditerranéens, les averses diluviennes, très fréquentes, expliquent la faible pente des courbes, surtout à l'ouest du Rhône. En octobre, ces déluges affectent essentiellement le Languedoc et le Roussillon.

2-2-2-3 Essai de synthèse :

Régimes pluviométriques et apports d'intensité
(Fig 2.2).

2-2-2-3-1 Les "règles de distribution des intensités journalières".

Les précipitations fines, inférieures à 5,5 mm, les plus nombreuses, représentent toujours plus de 50 % des relevés. Leur fréquence relative est plus grande sur les côtes méditerranéennes, mais les apports, faibles sur l'ensemble des Midis y sont insignifiants.

Les averses diluviennes, peu fréquentes, et même rares en Aquitaine, donnent moins de 20 % des modules annuels en Aquitaine, mais plus de 30 % en Méditerranée. Deux anomalies régionales sont perceptibles; en Provence orientale, les pluies fines ne sont pas relativement plus fréquentes qu'en Aquitaine. Sur le piémont pyrénéen, notamment à l'ouest du gave de Pau, les violentes averses donnent plus de 20 % des lames d'eau annuelles.

De mars à août, les pluies fines augmentent tandis que se dégradent les averses torrentielles, puis de septembre à février le schéma s'inverse. Le toulousain et ses annexes constituent l'exception la plus nette à cette évolution générale.

En Aquitaine, les effets du complexe géographique sont simples; l'effet continental est traduit par une augmentation des intensités extrêmes, des pluies diluviennes et fines. Les violentes averses sont plus

nombreuses au sud, où à l'effet de latitude s'ajoute le relief. Dans les régions méditerranéennes, la diversité est de règle. L'augmentation des pluies fortes, nette dans l'intérieur, varie suivant les régions et surtout les mois. Des évolutions inverses dans des régions voisines au cours d'un même mois, en particulier en automne, sont classiques.

2-2-2-3-2 Les types de régimes.

La variation des types d'apport suivant les mois et les régions est trop grande pour formuler des règles précises. On peut cependant dresser une typologie des saisons pluvieuses à partir des trois tranches d'intensité :

0,1 à	5,5 mm	= faible
5,6 à	19,5 mm	= moyen
>	19,5 mm	= fort

Chaque saison pluvieuse peut être définie par une des six combinaisons suivantes :

Faible, moyen, fort	(A)
Faible, fort, moyen	(B)
Moyen, faible, fort	(C)
Moyen, fort, faible	(D)
Fort, moyen, faible	(E)
Fort, faible, moyen	(F)

- Les régimes simples

La côte atlantique au sens étroit, le pays basque et un liseré du delta rhodanien ont une seule saison pluvieuse, mais la répartition des apports d'intensité est différente. En Camargue le type E est généralisé, sauf en novembre-décembre quand la part des averses diluviennes s'estompe et le type D l'emporte.

Sur les côtes du pays basque, pluies moyennes et fortes contribuent également à l'abondance saisonnière, d'où la variabilité des types D et E suivant les mois. Plus au nord sur la côte landaise, la primauté des pluies moyennes s'accroît, suivie par les pluies fines, et chaque mois, sauf septembre, correspond au type C.

- Les régimes binaires

Les régimes à deux saisons pluvieuses sont nombreux et complexes. En Aquitaine, sauf dans l'agénais, proche du toulousain, et sur le piémont pyrénéen, les deux saisons de pluies correspondent au type D. En Languedoc et sur la côte-d'Azur, les pluies fortes et même violentes sont à l'origine des lames mensuelles records d'automne (type E). Au printemps, les pluies fortes occupent toujours la première place, mais leur suprématie est moins évidente. Dans les régions intérieures du bas-Rhône, et sur la côte varoise à l'ouest de l'Estérel, le schéma d'automne persiste, mais au printemps, les pluies moyennes donnent les apports maxima (type D).

- Le schéma toulousain

Dans les pays toulousains, les trois saisons de pluies sont différentes. Les pluies moyennes dominent au début de l'été (type D), et au coeur de l'hiver; mais en décembre, les fortes averses donnent des totaux médiocres et les pluies fines prennent la seconde place (type C). En septembre, pluies fines et moyennes fournissent des lames d'eau presque égales, mais le premier rang est détenu par les pluies fortes (type F).

Cette brève typologie souligne deux idées dont la première est bien connue; en Aquitaine, les saisons pluvieuses ont pour origine des pluies d'intensité

moyenne, et le maximum des pluies fortes est indépendant du maximum des hauteurs. En Méditerranée, la correspondance entre lames mensuelles maxima et averses diluviennes, plus étroite, est presque parfaite semble-t-il. Très souvent, en effet, les pluies fortes et violentes tombent en septembre-octobre, au début de la saison des pluies. Le rétablissement de la circulation perturbée et les conditions thermiques favorables expliquent cette originalité. Les masses d'air encore chaudes peuvent contenir beaucoup de vapeur d'eau; d'autre part, le continent encore chaud, n'est pas un facteur de stabilisation.

2-2-3 LES INTENSITES REELLES : ANALYSE FREQUENTIELLE

La technique fréquentielle appliquée aux averses journalières et non pas aux intensités réelles, va à l'encontre des idées émises sur les pluies méditerranéennes, particulièrement en été. Ce désaccord n'est pas imputable à une technique, mais à l'objet même des relevés. L'analyse fréquentielle des intensités réelles, définies à partir des graphes des pluviomètres enregistreurs constitue une approche plus fine.

2-2-3-1 Les schémas annuels (Fig 2.3)

Les fortes précipitations sont maxima sur les rivages méditerranéens, sauf en Roussillon; en pays basque, l'effectif des chutes intenses est aussi très élevé. Les pluies de faible intensité sont malgré tout plus nombreuses dans le sud-ouest, règle qui ne souffre aucune exception (12).

(12) Les effectifs absolus et les fréquences relatives sont regroupés :

0,01 à 1,00 mm/h	faible
1,01 à 5,00 mm/h	moyenne
5,01 mm/h et plus	forte

2-2-3-1-1 Les intensités réelles en pays basque.

L'originalité du pays basque ne transparait pas à l'examen des fréquences relatives; elles témoignent de l'appartenance du monde basque au domaine aquitain; mais les effectifs des fortes intensités, sont deux fois plus nombreux que dans le reste de l'Aquitaine. Biarritz est la seule station du sud-ouest où le seuil de 15,00 mm/h a été dépassé.

Les nuances entre la côte et l'intérieur sont peu significatives. Les pluies de faible et moyenne intensité sont moins nombreuses dans les stations pyrénéennes. Les fortes intensités, encore très nombreuses, ont des fréquences relatives fortes, mais inférieures à celles des stations méditerranéennes.

2-2-3-1-2 Les Midis "secs".

Dans les trois Midis "secs", deux ou trois types ne couvrent pas la même étendue suivant que sont considérés les effectifs ou les fréquences relatives. En Roussillon, dans le delta rhodanien et le toulousain, les fortes averses sont rares, toujours moins de cent en dix ans, mais la répartition des pluies de type crachin fait éclater cette unité; en toulousain, plus de cent précipitations fines sont enregistrées par an, contre moins de soixante en Roussillon, et moins encore dans le bas-Rhône. Delta rhodanien et Roussillon sont deux nuances d'un même type. Les pluies fines sont plus rares et les averses moyennes et brutales plus nombreuses dans le delta rhodanien.

L'analyse des fréquences relatives donne trois types. Dans l'Aquitaine intérieure, les fortes précipitations, jamais plus de 5 %, et les pluies pénétrantes, plus de 50 %, attestent l'appartenance du toulousain et ses annexes au monde aquitain. Le bas-Rhône, avec seulement 33 % de faibles précipitations, et plus de 10 %

d'averses de forte intensité constitue un second type. En Roussillon, les précipitations médiocres très nombreuses ne dépassent cependant pas 50 %; les pluies fortes ont une fréquence relative médiocre, inférieure à 10 % comme en Aquitaine centrale. Le Roussillon, apparenté au Midi aquitain par la rareté des fortes intensités, et au Midi méditerranéen par la médiocrité des pluies très fines, constitue donc un troisième type distinct.

2-2-3-1-3 Les régions "humides".

Dans les Midis "humides" deux types s'individualisent parfaitement : en Aquitaine, prédominant des pluies de très faible intensité. Les averses brutales, plus rares à Toulouse qu'à Bordeaux, ont des fréquences relatives presque nulles. Les intensités faibles sont très nombreuses, entre 50 et 60 %, mais en valeur absolue, le pays basque demeure au premier rang.

Les fortes averses sont, en valeur absolue, plus nombreuses dans les Midis méditerranéens humides, notamment dans le comté de Nice, où leur fréquence relative est de 15 %. Les pluies très fines représentent un tiers des relevés, fréquence non négligeable, même si les intensités moyennes l'emportent dans toutes les stations. Les intensités moyennes et fortes sont plus nombreuses en Provence orientale.

Le nombre insuffisant d'années, donc de relevés, ne permet pas de procéder à l'ajustement analytique des courbes de fréquence. Malgré ces lacunes, la distribution fréquentielle des intensités réelles ne s'ordonne pas selon une fonction gaussienne; les intensités réelles obéissent à une loi plus complexe du type :

$$Y = \frac{1}{a + bX} \quad \text{ou} \quad \text{Log } Y = a + b \log X$$

Comme pour les durées réelles les distributions ne sont pas "normales"; l'intensité moyenne n'a aucune signification "réaliste", même si elle a toujours un sens mathématique. D'autre part, il est vain de chercher des corrélations linéaires avec d'autres paramètres.

2-2-3-2 Les distributions mensuelles (Fig 2.4)

Les distributions fréquentielles mensuelles offrent les mêmes caractères généraux que les schémas annuels. Les pluies fines sont généralement plus nombreuses et plus fréquentes en Aquitaine. Les chutes dévastatrices, en nombre parfois égal dans les deux Mids, ont des fréquences relatives supérieures dans les régions méditerranéennes. Deux grands types de mois s'opposent, quand les crachins dominent et quand leur supériorité s'estompe.

2-2-3-2-1 La prédominance des pluies fines pendant la saison froide.

En hiver et plus généralement pendant les mois frais, les fréquences absolues et relatives attestent la supériorité des ondées légères. En décembre et janvier, plus de 60 % des précipitations appartiennent à ce type dans toutes les stations, sauf quelques rares exceptions comme Montpellier et Nice. Cette règle est surtout vérifiée en décembre-janvier, mois où les faibles intensités peuvent représenter plus de 80 % des relevés, comme à Bordeaux.

Autour de ce bimestre caractéristique, s'agglomèrent d'autres mois, mais l'opposition entre les deux domaines réapparaît. En Méditerranée, cette distribution est stable de novembre à février, exceptée une interruption en février dans les régions humides du Languedoc et de la Provence orientale; elle s'éternise

huit ou neuf mois, de septembre à avril, en Aquitaine, sauf dans le pays basque où la suprématie des pluies insignifiantes ne dure pas six mois.

D'autres nuances apparaissent à l'intérieur de ce schéma quand on examine les autres catégories d'intensités réelles. En outre, dans les postes méditerranéens la fréquence des fortes averses dépasse parfois 5 % en Languedoc et sur la côte-d'Azur, mais elles sont pratiquement inexistantes dans les régions du sud-ouest, pays basque excepté. Les intensités moyennes varient entre 20 et 50 % suivant les mois.

2-2-3-2-2 Les distributions fréquentielles pendant la saison chaude.

Les averses d'intensité moyenne deviennent majoritaire de mai à juillet en Aquitaine, et d'avril à novembre dans les postes méditerranéens. A l'intérieur de cette classe de nuances se dessinent. En Aquitaine, la part des fortes pluies augmente, sans jamais dépasser 20 %, sauf sur le littoral basque. Les précipitations de moyenne intensité sont nombreuses, mais leur fréquence relative atteint rarement le seuil 50 %; les pluies fines, toujours présentes, ne sont jamais négligeables. Aucune nuance régionale n'apparaît.

Dans les régions méditerranéennes, les distributions mensuelles sont plus complexes; en juillet et en automne, les intensités moyennes occupent la première place, mais les pluies violentes se renforcent tandis que les crachins sont réduits à la portion congrue. Ceci correspond aux observations de nos devanciers, qui insistaient sur la violence des chutes. Pendant les autres mois d'été, et pour certains mois d'automne, variables suivant les régions, les fortes pluies sont moins fréquentes, et la part des crachins augmente. Cette répartition fréquentielle caractérise notamment les

Midis secs, à la fin du printemps ou au début de l'été.

2-3 LA VARIABILITE DES INTENSITES

La dispersion des précipitations journalières est révélée par l'analyse des écarts interquartiles, paramètres de dispersion absolue, et par le coefficient interquartile, mesure de la variabilité relative; pour chaque classe d'intensité réelle, l'écart-type et le coefficient de variation ont la même fonction.

2-3-1 LA VARIABILITE DES PRECIPITATIONS EN VINGT QUATRE HEURES

2-3-1-1 La dispersion annuelle

A l'échelle annuelle, la variabilité absolue est maximum dans les deux provinces "humides" du pays basque et de la côte-d'Azur; les coefficients interquartiles, compris entre 10 et 20 mm, dépassent même ce seuil à Nice. Un second ensemble comprend le Bordelais, le Languedoc et le bas-Rhône, où la dispersion absolue est moins forte; elle diminue encore en Roussillon et en Aquitaine intérieure, moins de 6 mm. Le Roussillon apparaît encore comme le prolongement de l'Aquitaine centrale. Il existe une relation directe entre les hauteurs quotidiennes médianes et leur variabilité absolue, à l'échelle régionale.

La dispersion relative est moins forte en Aquitaine. L'exception du bas-Rhône, qui semble devoir être rattaché au sud-ouest est due au paramètre choisi; en effet, l'emploi d'un second coefficient de dispersion relative $(Q_3 - Q_1) / (Q_3 + Q_1)$ efface cette originalité. Second caractère fondamental : l'absence de nuances régionales est surprenante; l'existence d'une corrélation inverse entre les hauteurs médianes et leur variabilité

relative, ne se vérifie pas.

2-3-1-2 La variabilité saisonnière (Fig 2.5)

Pour les douze mois, seule la variabilité relative permet des comparaisons fécondes. Elles sont toujours inférieures en Aquitaine, règle rarement transgressée.

2-3-1-2-1 La dispersion pendant la saison fraîche

L'hiver et le printemps sont caractérisés par une faible dispersion, généralisée, souvent inférieure à la dispersion annuelle. En avril, les deux domaines aquitain et méditerranéen s'opposent, mais les nuances intrarégionales ne sont pas significatives. La dispersion relative est minimum sur toute la côte atlantique, littoral basque compris, et elle augmente à peine sur le piémont pyrénéen et dans l'intérieur; les coefficients, 16 à Biarritz et Bordeaux, 18 à Pau et Toulouse, font ressortir une profonde unité. Dans les régions méditerranéennes l'unité est aussi de règle, 25 % à Montpellier, station arrosée, et à Marignane, poste plus sec. D'autre part, une partie du seuil de Naurouze s'intègre au Midi méditerranéen démontrant la pénétration des influences méditerranéennes au printemps.

Mai prolonge avril avec de légères variantes. La variabilité relative augmente dans certaines stations méditerranéennes, annonce de l'été, mais cette hausse n'est pas générale. Seconde nuance, le pays basque où une forte augmentation de la dispersion est enregistrée, plus de 25 % à Biarritz.

Au coeur de l'hiver en décembre, la variabilité est faible sur l'ensemble des Midis, sauf en Roussillon. En outre, les différences régionales s'estompent; tous les coefficients sont compris entre 20 et 30 %,

TAB 2.2 - INTERQUARTILES MENSUELS DES PRECIPITATIONS
JOURNALIERES

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Biarritz	6.2	6.4	9.5	6.3	10.0	9.7	6.6	11.2	13.7	14.5	12.9	9.5
Bordeaux	6.6	6.4	6.3	4.7	5.0	6.9	4.3	6.0	6.6	8.5	8.9	8.8
Cazaux	8.2	6.1	5.4	4.6	4.6	4.8	3.8	5.7	7.6	10.9	11.2	9.5
Tarbes	6.1	6.1	8.3	6.6	9.7	9.3	3.7	6.0	7.8	9.0	10.2	11.9
Agen	6.2	5.2	5.7	4.9	5.9	6.8	4.9	5.2	5.8	7.2	7.4	7.5
Saint-Girons	5.8	5.1	4.9	4.9	6.4	6.1	4.1	4.9	4.8	5.7	5.8	6.1
Toulouse	5.0	4.7	4.6	5.0	6.5	6.8	4.7	5.0	4.9	5.1	5.2	5.3
Carcassonne	5.1	4.9	5.3	6.0	8.1	7.5	4.9	5.1	4.2	4.8	6.1	5.9
Perpignan	6.4	5.8	5.7	7.0	5.8	5.5	5.6	5.8	6.4	6.9	7.2	6.4
Montpellier	7.2	6.8	7.6	8.3	9.3	9.0	5.4	12.8	13.2	12.4	10.1	5.2
Nîmes	7.4	6.4	8.2	7.6	9.1	9.2	6.7	11.6	13.6	12.6	9.0	5.5
Marignane	7.0	5.8	6.4	7.0	5.8	9.3	6.5	8.3	12.4	11.2	8.0	8.0
Toulon	7.9	6.6	7.8	8.6	6.5	7.4	3.5	7.7	8.2	9.8	11.4	10.6
Nice	10.1	9.8	11.7	11.7	5.9	4.8	9.9	9.7	11.8	13.4	14.2	11.6

$$I = Q_3 - Q_1$$

sauf sur la côte océanique, où la variabilité plus faible illustre la concentration des pluies médiocres.

2-3-1-2-2 La dispersion relative en été
et automne.

En été, l'augmentation de la variabilité relative généralisée est plus ou moins prononcée suivant les régions. Cet accroissement correspond à une diminution de la variabilité absolue, variable suivant des stations, et les nuances régionales sont donc complexes.

La variabilité est inférieure à 0,20, dans toute l'Aquitaine, excepté le littoral basque et ses annexes continentaux; les autres provinces, intérieures et océaniques, ne sont pas différenciées. Sur la côte basque, la forte variabilité en mai persévère en juin et juillet, à peine inférieure à 30 %; cette forte dispersion, limitée aux stations océaniques, s'estompe très rapidement dans les bassins intérieurs. Dans les pays méditerranéens secs, en Roussillon et bas-Rhône, la variabilité très modérée de juillet est provoquée par un fléchissement du nombre des chutes. Le Languedoc et la Côte-d'Azur, forment un autre type, car la variabilité relative atteint des valeurs records, supérieures à 30 %, notamment en Languedoc (40 % à Montpellier).

En automne, la variabilité diminue dans tous les postes intérieurs et côtiers de l'Aquitaine, mais l'originalité du littoral basque persiste et s'étend sur les Landes méridionales; l'augmentation de la variabilité absolue a pour conséquence la baisse de la dispersion relative. En Méditerranée, aucune baisse de la variabilité relative n'est véritablement significative; à Nice, les deux coefficients de juillet et septembre sont égaux (33 %). D'autre part, la diversité régionale s'efface en automne, car la variabilité relative augmente fortement en Roussillon et sur le bas-Rhône. La

région de Carcassonne et le seuil de Naurouze forment une transition entre les deux Midis.

2-3-2 LA VARIABILITE DES TYPES D'INTENSITES REELLES

Les écarts-types des différentes catégories d'intensités réelles offrent peu d'intérêt, car ils dépendent essentiellement du nombre de chutes; ils sont plus élevés dans les stations très arrosées. Les comparaisons sont établies à partir des coefficients de variation.

2-3-2-1 La variabilité annuelle des types d'intensités réelles.

A l'échelle de l'année, les très fortes averses sont les plus irrégulières dans toutes les stations. Tous les coefficients de variation, supérieurs à 50 %, attestent une forte dispersion; les deux autres tranches d'intensité sont formées d'averses plus régulières, même si la dispersion absolue est élevée comme sur les littoraux atlantiques.

La variabilité des pluies destructrices est maximum dans les trois provinces "sèches", bas-Rhône, Roussillon et toulousain. Ailleurs, la reconnaissance de type est illusoire même si en Aquitaine océanique la variabilité absolue est plus forte qu'en Méditerranée. Enfin, la dispersion relative des pluies fines est toujours inférieure à celle des intensités moyennes dans le sud-ouest, règle non vérifiée en Languedoc et sur la côte d'Azur.

2-3-2-2 La variabilité mensuelle.

La variabilité mensuelle a des caractères identiques avec la dispersion annuelle, notamment des coeffi-

cients très élevés pour les pluies intenses toujours irrégulières; les coefficients de variation sont rarement inférieurs à 50 %, sauf au début de l'automne, quand tombent ces violentes averses. Parfois, la dispersion relative faiblit aussi à la fin du printemps ou au début de l'été; donc les précipitations très fortes ne sont pas totalement absentes pendant le second maximum pluviométrique. Pour ces averses l'opposition n'est pas entre mois chauds et frais, mais entre mois secs et humides; au début des saisons pluvieuses, les abats d'eau sont constitués de fortes averses, recueillies chaque année.

La dispersion des pluies fines, différente, est indépendante des régimes pluviométriques. La variabilité est maximum en été, quand ce type de chute est rare, règle aussi valable en Aquitaine centrale, où certains mois estivaux sont arrosés. D'autre part, l'opposition entre les deux Midis est nette, la dispersion étant moins prononcée dans les postes aquitains, spécialement en saison fraîche. A l'intérieur du Midi méditerranéen, dans le bas-Rhône, la dispersion relative est très élevée; le Roussillon reste une zone de transition entre le toulousain et la Méditerranée.

CONCLUSION

La distribution fréquentielle des intensités obéit à des lois variables suivant le paramètre considéré; seules les intensités moyennes s'ordonnent suivant une loi de Gauss. Les précipitations journalières, et les intensités réelles sont ajustées par des fonctions plus complexes; ainsi pour les pluies en vingt quatre heures la loi

$$Y = (aX^2 + bX + c) / X$$

est une combinaison de fonction affine et exponentielle.

Les lois probabilistes des intensités réelles sont du même type, en I, mais la brièveté des séries, interdit de faire un choix précis.

A l'échelle mensuelle, le modèle d'ajustement des pluies journalières est identique, seuls les paramètres a, b et c changent; mais les intensités réelles ne sont pas distribuées suivant un modèle unique; en été, les courbes empiriques prennent la forme d'une "cloche" à dissymétrie positive.

Les pluies journalières ne traduisent pas toujours les intensités réelles, et la part des pluies fines est exagérée. Cette disharmonie varie suivant l'échelle temporelle; pratiquement nulle pour l'année et les mois froids, elle grandit en été et au début de l'automne. Il serait souhaitable d'établir un rapport mathématique entre les deux distributions fréquentielles, mais la brièveté des séries, et l'absence de normalité sont contraignantes.

Le paramètre pluie en vingt quatre heures, très satisfaisant pour résoudre des problèmes de capacité, par exemple la construction de barrage, est insuffisant pour analyser des thèmes très liés à l'intensité réelle, notamment l'érosion en été.

Les relations entre la variabilité absolue et l'effectif de chaque classe d'intensité ne sont pas linéaires, mais l'augmentation simultanée des deux paramètres indique une proportionnalité directe. La relation entre les effectifs et la variabilité relative n'est pas inversement proportionnelle, notamment à l'échelle mensuelle. Cette loi se vérifie peut-être à l'échelle régionale.

D E U X I E M E P A R T I E

LES ELEMENTS COMPLEXES ET LES LOIS DE RELATION

C H A P I T R E T R O I S

LES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS

La hauteur des précipitations, paramètre le plus classique, est l'objet de très nombreuses études. Dans ce chapitre, seuls quelques problèmes théoriques majeurs sont retenus. A propos de l'année pluviométrique deux questions sont rarement élucidées, quand débute-t-elle ? Quelle est sa durée précise ? Les lois de distribution des hauteurs annuelles et mensuelles sont définies. Le problème des divisions spatiales et des régimes pluviométriques est reposé, après une brève introduction à la répartition diurne des hauteurs durant les mois tests de décembre et juillet.

3-1 REFLEXIONS THEORIQUES ET TECHNIQUES3-1-1 LES HAUTEURS ANNUELLES

Le découpage annuel peut être analysé en fonction de considérations théoriques ou pratiques, dualité maintes fois soulignée. Les climatologues prennent comme point origine de l'année pluviométrique, non pas janvier, mais décembre. Ce choix, toujours arbitraire, est très discutable pour les pluies dans les Midis, car l'analyse même empirique des totaux mensuels, ne montre aucune coupure nette entre l'automne et décembre, même si les mécanismes évoluent. Les hydrologues retiennent comme point de départ le mois d'octobre et avancent de multiples raisons, notamment celles relatives aux réserves en eau et à l'écoulement.

Ces solutions empiriques sont donc sujettes à caution sans être obligatoirement erronées. Pour répondre

à la question théorique posée, diverses techniques sont utilisables. Partant des observations mensuelles, classées dans leur ordre chronologique, on peut calculer une série de paramètres en prenant comme mois origine de l'année, janvier, puis février ... jusqu'à décembre. On obtient douze séries de hauteurs annuelles sur vingt ans pour chaque station, et pour chaque série ont été calculés :

- la moyenne
- l'écart-type
- le coefficient de variation
- les deux paramètres B_1 et B_2

Ces deux derniers paramètres, outre leur rôle descriptif (dissymétrie et aplatissement d'une courbe), donnent le modèle mathématique correspondant au meilleur ajustement possible, en reportant leur valeur sur l'abaque de Pearson.

Selon des travaux antérieurs, les hauteurs annuelles s'ordonnent suivant une loi de Gauss, mais si l'année commence en avril ou en juin la loi de distribution peut être différente. Cependant, pour des traitements ultérieurs, il est souhaitable de choisir la meilleure distribution gaussienne, car le problème de la normalité est au centre de la statistique. Pour obtenir un modèle gaussien le plus proche de la réalité il faut donc retenir l'année où :

$$B_1 = 0$$

$$B_2 = 3$$

Le choix du point origine de l'année pluviométrique peut aussi dépendre du coefficient de variation, qui permet de comparer des totaux très différents; l'objectif devient : déterminer l'année pluviométrique qui se reproduit avec le plus de régularité dans le temps.

Toutes ces techniques reposent sur l'hypothèse préalable suivante, l'année pluvieuse comprend exactement douze mois; mais des années de dix, onze, treize mois n'existent-elles pas ? Cette hypothèse issue d'observations en Provence, est vérifiable par la technique des moyennes mouvantes ou la confection de corrélogramme. La technique des moyennes mobiles simples ou pondérées de Spencer présente deux inconvénients majeurs; l'étude des résidus montre que la moyenne mouvante "amplifie les oscillations les plus courtes aux dépens des plus longues" (1), et surtout elle peut entraîner une organisation factice. La confection de corrélogramme sur lequel est lue directement la longueur de la période, plus rationnelle, représente une somme de travail impressionnante. En effet, sur une série chronologique de N mois, 240 par stations, il faut calculer les K coefficients de corrélation définis par :

$$R_K = \frac{\sum_{i=1}^{N-K} x_i x_{i+K}}{(N-K) \overline{x_i} \overline{x_{i+K}}}$$

où $x_1, x_2, \dots, x_i$ sont les valeurs ramenées à la moyenne. Pour apprécier la durée du cycle annuel, au moins 60 coefficients, soit cinq ans sont nécessaires.

Dans cette thèse, est retenue la technique voisine des autovariances-covariances; le calcul et interprétation des résultats sont identiques, mais le dénominateur est allégé. Cent autovariances-covariances par stations, ont été transcrites par Benson sur papier millimétré. Chaque courbe ainsi obtenue joint les points d'abscisses K (1,2,3... 100 mois) et d'ordonnées

(1) J. Vialar, Calcul des probabilités et statistique (27).

A_K (autovariances-covariances). Sur chaque courbe, la longueur précise des années pluviométriques est délimitée par des points maxima. Pour plus de sûreté ce traitement a été effectué en partant de janvier puis de juin; les résultats sont identiques, seule l'ampleur des maxima varie; la durée des années pluviométriques ne change donc pas en fonction du point origine.

3-1-2 LA NOTION DE SAISON=SOURCES ET TECHNIQUES

La notion de saison est d'un intérêt majeur en climatologie, sur le plan théorique et pratique; elle traduit le rythme du temps à une certaine échelle, et aucun climatologue ne peut faire oeuvre sérieuse sans analyser les rythmes climatiques. Découper l'année en saisons revient à établir une représentation simplifiée de la réalité la plus logique possible. Le modèle, désormais classique de Musset, qui divise l'année en quatre saisons trimestrielles est très critiquable, et de nombreux auteurs ont démontré les lacunes de ce cadre temporel. Cette technique est particulièrement inadaptée au cadre spatial de cette thèse.

Un modèle part toujours d'hypothèses et de choix, limites fixées a priori. Dans cet ouvrage l'unité élémentaire est le mois, et les saisons sont des regroupements de mois.

Dans les Midis, les postes pluviométriques sont très nombreux; une seule "région" est véritablement pauvre, les Landes méridionales. Cette anomalie n'influence pas l'analyse des régimes car la variabilité spatiale est faible, mais elle constitue une lacune grave pour dessiner la limite, si elle existe, entre le pays basque et la côte d'Argent.

Les moyennes mensuelles publiées par Garnier (2)

- (2) M. Garnier, Climatologie de la France, sélection de données statistiques (103).

sont parfois inexactes; on relève ainsi, de nombreuses interversions entre les données et le nom des stations, particulièrement sur les rivages méditerranéens. La solution plus longue, établir des normales ou moyenne de trente ans sur la période 1941-1970 a été préférée.

Ces sources ont été soumises à deux analyses préliminaires, et premièrement tester l'absence de tendance, et de cycle (3). La vérification a été faite avec les techniques classiques, notamment les tests de Spearman et du maximum des phases, établis sur de longues séries, comme celles de Marseille-observatoire et Bordeaux. Les tests toujours négatifs, même pour les séries moins longues de Toulouse et Nice, démontrent l'absence d'une évolution tendancielle de la pluviosité dans les Midis sur un siècle et demi. D'autre part, la longueur inégale des mois entraîne la correction classique pour obtenir des données homogènes.

Ces deux analyses préparatoires sont cependant insuffisantes; premièrement des variations de pluviosité sont dues à des pluviomètres défectueux, des changements de site... Pour apprécier ces erreurs l'établissement des courbes de cumul représente un travail énorme, certes utile mais peu fécond à l'échelle de cet ouvrage. La seconde critique tient à l'unité de base retenue, le mois, qui n'est pas une réalité climatique assurée, notamment pendant les saisons de transition; mais actuellement, malgré les recommandations officielles les totaux par décades ne sont pas disponibles. D'autre part, on peut s'interroger sur cette valeur;

- (3) Le mot cycle a un sens précis; il indique des phases pluvieuses et sèches d'intensité et de durées égales. L'absence de cycle ne signifie donc nullement qu'aucune phase pluvieuse ou sèche ne puisse être distinguée.

n'est-il pas préférable d'employer la pentade mieux adaptée aux mécanismes synoptiques. Cette critique des sources entraîne le choix de 242 stations, nombre satisfaisant pour une analyse à l'échelle des Midis.

Les techniques d'analyse des régimes, très nombreuses, ne sont pas toutes rappelées. Les coefficients pluviométriques corrigés ont été largement utilisés, bien que peu utiles. Les techniques mises au point à Grenoble dans le cadre du CNRS, la comparaison des variations de valeur des coefficients, des écarts-types et des coefficients de variation, ont donné des résultats satisfaisants pour les Alpes, mais malheureusement elles ne sont pas transposables en Méditerranée. En été, dans ces régions, les modèles de distribution des pluies mensuelles ne sont pas du type gamma. Ne disposant pas de longues séries, les valeurs des paramètres de dissymétrie et d'aplatissement reportées sur l'abaque de Pearson donnent des résultats décevants; un nombre élevé de mois n'enregistre aucune averse pendant cette saison sèche, et il est préférable de retenir comme modèle la loi gamma incomplète ou tronquée. Avec les séries disponibles, cette technique des variations concomitantes de coefficients n'est donc pas applicable.

L'analyse harmonique a été employée pour l'étude des régimes et des espaces pluviométriques au Canada et aux Etats-Unis (4). Les oscillations réelles complexes sont décomposées en ondes plus simples de même période, décomposition possible car une fonction cyclique peut toujours être mise sous la forme :

$$Y = a_0 + a_1 \sin(X + A_1) + \dots; a_n \sin(nX + A_n)$$

- (4) L. H. Horn et R. A. Bryson, Harmonic analysis of the annual march of precipitation (13).

où :

a_0 est la moyenne arithmétique des observations

$a_1 \dots a_n$ sont les amplitudes des différentes ondes

$A_1 \dots A_n$ sont les angles de phase

Cette technique prend directement en compte l'espace et le temps selon le vœu des auteurs, mais demeure critiquable. En effet, les cycles saisonniers doivent être parfaitement réguliers, donc l'année pluviométrique dure bien toujours douze mois, et les répartitions mensuelles demeurent stables. Une simple observation des séries pluviométriques montre des décalages mensuels, et d'autre part, l'année pluviométrique ne dure pas obligatoirement douze mois. L'analyse d'auto-variance-covariance appliquée à quelques stations types montre qu'une année pluviométrique sur trois seulement a une durée réelle de douze mois; ainsi, cette technique ne doit pas être retenue.

Les hauteurs mensuelles moyennes, pour chaque station, sont traitées par une série d'analyses factorielles en composantes principales du type Varimax; certaines limites en sont bien connues. La contrainte de normalité sur les données, ou plus exactement sur les distributions marginales demeure un sujet de débat. Aucun test n'est disponible actuellement pour des séries bivariées, et ceci est encore plus vrai dans un espace à n dimensions; les mathématiciens se partagent en deux écoles au moins; pour certains d'entre eux la normalité est un préalable; pour d'autres ces questions embarrassantes ne sont pas abordées de front. Dans l'ouvrage de L. Lebart et J. P. Fénelon on lit à propos de l'analyse en composantes principales : "On ne fait pratiquement aucune hypothèse particulière préalable", mais à propos de l'analyse des rangs ces mêmes auteurs écrivent qu'on

substitue parfois les coefficients de corrélation des rangs aux coefficients de Pearson parce que, "les distributions marginales étant de formes très diverses, on estime que la corrélation des rangs est la seule mesure de liaison "intrinsèque" c'est-à-dire indépendante des divers changements de variables ou d'échelles possibles" (5).

Dans cette étude, l'analyse R-mode sur les mois ne pose pas de problème car les variables, sauf en été, s'ordonnent suivant un modèle gaussien; pour les mois chauds, une rectification par la technique des pas fractionnaires a été introduite.

L'analyse factorielle classique du type R-mode ne prend pas en compte directement l'espace, défaut majeur pour le géographe; en effet, l'espace est défini indirectement par les poids locaux ou saturations des objets (les stations) dans les facteurs. Ces poids locaux n'intègrent pas directement une série de contraintes spatiales, telles la contiguité ou l'autocorrélation spatiale pour ne citer que les plus courantes. D'autres problèmes sont rarement perçus par les utilisateurs : ainsi, les erreurs d'échantillonnage sur les poids locaux sont inconnues et ne peuvent pas être déterminées; d'autre part, ils sont invariants quelles que soient les techniques d'estimation retenues; la prudence s'impose dans l'interprétation.

Un second type d'analyse en composantes principales, l'analyse Q-mode a été faite pour éviter ces contraintes. Ce ne sont pas les variables qui sont corrélées donc à l'origine de la matrice de corrélation, mais les objets (stations). Ce type d'analyse factorielle, mieux adapté à la science géographique, a pu être employé car les données, homogènes, peuvent être additionnées.

- (5) L. Lebart J.P. Fénelon, Statistique et informatique appliquées (16).

L'analyse factorielle Q-mode, sur les stations, doit donc donner de meilleurs résultats; cependant, la contrainte de normalité, si elle existe, n'est pas respectée dans cette étude, car les douze hauteurs mensuelles de chaque station ne s'ordonnent pas suivant une loi de Gauss. D'autre part, l'effet de persistance ou autocorrélation temporelle n'est pas exclu, même s'il est très faible à l'échelle mensuelle (6). Malgré ces imperfections, il est utile de comparer les deux types de résultats.

A partir des deux séries de résultats sont dessinées deux cartes qui intègrent les saturations des différents facteurs, trois pour l'analyse R-mode et quatre pour l'analyse Q-mode. Chaque cercle stationnel identifie l'originalité de la station. Les limites, séparant les groupes de stations ont été établies par un dessinateur, peu qualifié en climatologie, pour ne pas projeter des connaissances empiriques. Une solution plus objective consiste à effectuer une classification automatique, mais les algorithmes de classification par agglomération disponible sont discutables (7).

La validité des limites peut cependant être testée a posteriori par l'analyse discriminante. En effet, connaissant le nombre de groupes ou d'espaces pluviométriques, l'analyse discriminante permet de confirmer ou d'infirmer l'appartenance d'une station à un ensemble spatial : les résultats indiquent à quel type doit être

- (6) On appelle persistance le fait que la hauteur de pluie relevée le mois $X + 1$ est dépendante de la hauteur recueillie le mois X . Cette persistance relativement forte entre les jours, s'atténue pour les mois et disparaît pratiquement pour les années.
- (7) Ceci n'est plus totalement vérifié; on dispose des programmes de J.P. Benzecri : Taxinomie (5), et de l'algorithme des nuées dynamiques.

rattaché chaque poste avec une probabilité donnée. Cette probabilité a une valeur épistémologique fondamentale; si les stations de part et d'autre d'une limite sont intégrées dans leur groupe respectif avec de fortes probabilités, supérieures à 95 %, la limite est très prononcée, inversement des probabilités faibles sont la preuve d'une limite diffuse. Grâce à l'analyse discriminante, le climatologue peut donc éclairer sous un jour quantitatif la notion de seuil mise en évidence par R. Brunet (8), ce qui n'est sans doute pas suffisant, mais déjà appréciable.

L'analyse discriminante est une simple analyse factorielle sur une matrice qui prend en compte les variances intergroupes et les variances intragroupes. L'analyse de variance suppose la normalité, et les analyses discriminantes ont été établies sur les saturations, pour respecter cette condition tyrannique. Cette première chaîne, analyse factorielle Q-mode - analyse discriminante, permet une différenciation objective des "espaces" pluviométriques.

L'examen des régimes à partir des saturations des variables dans les facteurs de l'analyse factorielle R-mode, insuffisante, donne un régime unique moyen à l'échelle des Midis, même si cette technique est la plus efficace. Pour obtenir les différents régimes, une série d'analyses factorielles R-mode ont été établies à trois échelles différentes : ensemble des deux domaines, chaque domaine, chaque province. Les axes factoriels obtenus ne sont pas identiques, mais l'interprétation du premier facteur demeure constante, et son "pouvoir d'explication" varie peu; la répartition des mois reste identique, et leur regroupement est une illustration des régimes pluviométriques si on respecte la contiguïté temporelle. La matrice de corrélation permet de

(8) R. Brunet, Les phénomènes de discontinuité en géographie (8).

trancher dans les cas douteux.

3-2 L'ANNEE PLUVIOMETRIQUE

3-2-1 LA DUREE DE L'ANNEE PLUVIEUSE

Le tableau 3.1 présente les résultats du dépouillement effectué sur les courbes d'autovariances-covariances pour onze stations-types. Une remarque préalable s'impose : les diagrammes sont d'autant plus sinueux, donc plus lisibles, que les écarts entre les totaux mensuels successifs sont élevés; à Toulouse, où tous les mois reçoivent des pluies sensiblement égales, le diagramme était d'interprétation difficile, et il est préférable de travailler sur celui de juin, où les résultats sont identiques.

Tableau 3.1 Durée des années pluvieuses

Nice	13	12	12	11	13	11	13	11
Toulon	13	13	10	12	13	12	10	13
Marignane	13	12	11	12	13	12	13	12
Montpellier	14	11	11	13	12	12	11	12
Perpignan	11	13	12	11	12	13	10	14
Nîmes	13	13	10	13	12	11	12	12
Bordeaux	12	14	11	12	11	13	12	11
Biarritz	12	14	11	12	13	11	11	12
Tarbes	12	12	13	12	11	13	12	11
Toulouse	10	10	11	13	12	11	17	13
Carcassonne	11	13	12	12	13	12	10	13

Pour l'ensemble des années et des stations on obtient 88 années ainsi réparties :

7 de 10 mois
21 de 11 mois
30 de 12 mois

26 de 13 mois

3 de 14 mois

1 de 17 mois

Cette dernière, obtenue à Toulouse où les hauteurs mensuelles sont peu différenciées, constitue plutôt un accident statistique qu'un paroxysme pluviométrique. Cet accident écarté, l'année pluviométrique de 12 mois se produit seulement une fois sur trois, résultat peu surprenant; le modèle annuel de douze mois ne convient pas deux fois sur trois. Les années pluvieuses de treize mois sont presque aussi nombreuses, et la classe des années plus brèves, de onze mois, forme aussi un contingent très important. Il existe donc, deux fois sur trois, un déphasage négatif ou positif par rapport au schéma idéal de douze mois. Ces décalages posent des problèmes pratiques difficiles à résoudre.

A l'échelle des deux Midis, les pourcentages d'années de douze mois, identiques, ne traduisent aucune nuance. Les années très brèves (10 mois), ou très longues (14 mois), caractérisent surtout l'Aquitaine où les oscillations autour du modèle classique sont plus fortes, conclusion surprenante car la variabilité y est plus faible. En réalité, ces écarts sont essentiellement causés par la durée de la saison pluvieuse hivernale; rarement absente, elle déborde plus ou moins dans un sens ou dans un autre. Les pluies de saison froide, qui débutent en septembre-octobre, peuvent s'atténuer dès janvier ou persévérer jusqu'au début du printemps. En Méditerranée, les saisons sèches et pluvieuses sont parfois décalées, mais cette variation dans le temps est moindre, même si les écarts entre deux mois de novembre sont très grands.

A l'échelle des régions, d'autres règles apparaissent en tenant compte de la succession des années. Sur le littoral atlantique et en Provence, les années plu-

vieuses de même durée sont approximativement en phase. En Aquitaine centrale et dans les régions voisines du Roussillon et du Languedoc, cette régularité n'apparaît plus; ainsi, à une année de quatorze mois à Montpellier correspond une année de onze mois à Perpignan, et une de dix à Toulouse.

Il serait intéressant d'examiner comment s'ordonnent les séquences d'années, constater si des schémas se répètent, mais il faut disposer d'au moins quarante années, soit près de 500 autovariances-covariances par stations, ce qui est actuellement impossible sauf pour quelques rares postes; la généralisation spatiale n'est alors plus possible. De telles études pourront être entreprises dans quelques années, en soumettant les résultats obtenus à des tests pour affirmer ou rejeter le caractère aléatoire d'une série. Actuellement, dans le cadre de cette thèse, constatons que le cadre annuel de douze mois, très imparfait, traduit mal la réalité. Les conséquences pratiques, nombreuses, dépassent le cadre de cet ouvrage.

3-2-2 L'ORIGINE DE L'ANNEE PLUVIOMETRIQUE

Les conclusions émises dans les paragraphes précédents semblent indiquer que l'origine de l'année pluviométrique est très variable dans le temps; le problème de son origine est donc étudié pour la seule année moyenne.

L'analyse des coefficients de variation apporte une première réponse. A l'ouest du Rhône dans les plaines du Languedoc, et sur la côte atlantique, les coefficients de variations sont minima pour les séries dont le mois origine est septembre. Le choix des hydrologues, satisfaisant sur le plan pratique, l'est aussi en théorie. Dans les stations d'Aquitaine centrale, les coeffi-

cients de variations sont sensiblement égaux, et le minimum varie suivant chaque poste. Cependant, l'année pluviométrique la plus régulière a toujours pour origine un mois printanier ou estival, avril à Tarbes, juillet à Toulouse après le maximum de mai-juin; l'année pluviométrique commence en moyenne, non pas au début d'une saison pluvieuse, mais à la fin d'un maximum mensuel; le troisième type correspond à la Provence et au Roussillon où le minimum de la variabilité caractérise les années commençant en janvier ou février après la saison pluvieuse d'hiver. L'Aquitaine est partagée en deux domaines, mais des transitions apparaîtraient avec des stations intermédiaires plus nombreuses. Le domaine méditerranéen éclate, une fois encore, en unités spatiales plus restreintes.

Quand la symétrie des distributions empiriques est le critère choisi, les résultats changent. Dans toutes les stations des Midis, sauf Carcassonne, B_1 est le plus proche de 0 en mars et parfois avril. Bien que ce coefficient soit très sensible au nombre d'unités statistiques, l'unité des Midis devient la règle. Mais ces courbes, très symétriques, sont plus ou moins aplaties. L'analyse des coefficients B_2 donne de nouvelles divisions. Pour une courbe normale B_2 doit être égal à 3. Le domaine méditerranéen est alors divisé en deux; dans le comté de Nice et à l'ouest du Rhône, l'origine de l'année pluviométrique doit être fixée en mai-juin; en Provence et en Aquitaine centrale, les années pluvieuses commencent en automne, plus précisément en octobre. Sur le littoral atlantique, l'année débute à la fin de l'hiver ou au début du printemps.

De telles démonstrations peuvent paraître sans intérêt, ce qui est inexact. L'année pluviométrique de douze mois, commençant en décembre ou en janvier, est aussi un modèle, pratique mais peu fécond, car il n'épouse pas la réalité. En effet, l'origine de l'année

pluviométrique, quel que soit le paramètre retenu, (sauf B_2 en Aquitaine continentale et en Provence qui fait apparaître le début de l'année au coeur d'une saison pluvieuse), correspond assez bien à des limites de saisons, du moins en première approximation. Ces fluctuations en domaine tempéré et méditerranéen n'ont pas de graves conséquences, mais que le lecteur songe aux marges désertiques ou aux climats de mousson : de tels déphasages peuvent avoir de graves conséquences et il est très utile de les préciser sous forme de schémas probabilistes.

3-2-3 LES MODELES MENSUELS

Les lois de distributions mensuelles des hauteurs, sont testées avec les paramètres B_1 et B_2 . Les résultats portés sur l'abaque de Pearson, donnent le meilleur ajustement possible.

Pour les 132 mois analysés (onze stations tests), quatre types de courbes sont fournis, en cloche dissymétrique (γ), en I, en J et hétérotypiques.

Les hauteurs mensuelles s'ordonnant suivant une loi γ , les plus nombreuses, ne représentent pas plus de 55 % des cas. Des différences opposent les deux Midis; en Aquitaine, le climatologue peut souvent utiliser ce modèle mathématique, en particulier pour tous les mois du premier semestre et décembre. Sur les rives méditerranéennes, ce type de fonction est moins fréquent, sauf dans le pays nîmois où neuf hauteurs sur douze peuvent être ajustées par cette loi. D'autre part, cette fonction convient parfaitement aux totaux relevés en décembre et janvier sur ces rivages, mais on comprend fort mal pourquoi cette distribution caractérise aussi août : l'importance des hauteurs nulles devrait modifier ce schéma en cloche. Les autres modèles de ce

type n'obéissent pas à une distribution saisonnière précise.

Les distributions en J, caractérisent 25 % des mois. Assez rares en Aquitaine, elles sont très fréquentes dans les régions méditerranéennes humides du Languedoc et du comté de Nice. Sur ces littoraux et les espaces voisins, ces lois caractérisent certaines distributions d'automne comme en Aquitaine, mais aussi de printemps en mars-avril, parfois même février. Il semble donc exister une relation entre les mois pluvieux, mais à forte variabilité, et ce type de fonction.

Les courbes en I, sont un modèle valable pour moins de 25 % des mois; plus fréquentes en Aquitaine, notamment dans les plaines intérieures où elles correspondent aux mois d'été, elles se raréfient en Méditerranée, et ne sont significatives qu'en mai et novembre.

Les fonctions hétérotypiques, très rares, affectent quelques hauteurs mensuelles, dans les stations du toulousain, du Roussillon et du Languedoc. Avec des séries plus longues, ce type disparaîtrait sans doute.

Les conséquences théoriques et pratiques de cet examen sont simples : les hauteurs mensuelles ne s'ordonnent pas obligatoirement selon une distribution gamma incomplète ainsi que le supposent de nombreux travaux antérieurs, constatation surtout valable pour les régions méditerranéennes. Peut-être, faut-il travailler sur des séries plus longues pour obtenir de tels modèles. En outre, les moyennes arithmétiques et les écarts-types qui ont toujours un sens mathématique, sont des paramètres imparfaits au stade de la description un mois sur deux. Il est préférable d'utiliser la médiane, ou mieux encore le mode pour les distributions en I. Ceci ne signifie nullement que moyennes et écarts-types, toujours employés, sont totalement inutiles, mais il est nécessaire de ne pas leur accorder une confiance

TAB 3.2 - MODELES MATHEMATIQUES D'AJUSTEMENT DES
HAUTEURS MENSUELLES

		Totaux		
	J F M A M J J A S O N D	1	2	3
Bordeaux	2 1 1 1 1 2 1 1 3 3 2 1	7	3	2
Biarritz	1 1 2 H 2 1 3 2 1 1 2 1	6	4	1
Agen	1 1 1 1 2 2 1 2 1 3 1 1	8	3	1
Toulouse	1 1 2 1 1 2 1 3 2 1 3 1	7	3	2
Carcassonne	1 3 2 3 2 1 2 1 1 H 1 1	6	3	2
Perpignan	H 2 3 2 3 1 1 1 2 3 3 1	4	3	4
Montpellier	2 3 1 1 H 1 3 3 3 2 3 3	3	2	6
Nîmes	1 1 3 2 1 1 3 1 1 1 1 1	9	1	2
Marignane	1 2 2 1 2 3 1 1 1 3 3 1	6	3	3
Toulon	2 1 3 3 2 1 1 1 2 1 2 3	5	4	3
Nice	2 3 3 3 3 3 3 1 2 3 2 3	1	3	8
Totaux		62	32	34

Légende :

- 1 Courbe en cloche, gauss, gamma
- 2 Courbe en I
- 3 Courbe en J
- H Hétérotypique

aveugle; l'interprétation doit être prudente. Les conséquences pratiques pour le géographe qui essaie de définir des liens entre les hauteurs de pluie et les autres éléments du complexe géographique ne sont pas moins importantes; la technique des corrélations simples de Pearson appliquée à ces données est critiquable, car la condition de normalité n'est pas respectée.

3-3 INTRODUCTION AU RYTHME JOURNALIER DES PRECIPITATIONS

Ce thème relatif au cycle diurne des précipitations est l'objet de nombreuses affirmations, certains auteurs niant l'effet de la convection thermique. Le refroidissement en hiver du continent et son réchauffement en été s'opposant, il n'est pas logique de définir un rythme journalier annuel. Les résultats intégreraient des effets contraires qui s'annulent. Décembre et juillet représentent les conditions pluviométriques extrêmes et l'étude des rythmes journaliers est faite pour ces deux mois.

Une analyse complète doit répondre à trois questions : Premièrement, la distribution des averses est-elle dépendante du cycle journalier ? Deuxièmement, si le cycle journalier ne modifie pas la répartition des averses, parvient-il à accroître ou diminuer les hauteurs recueillies ? Enfin, quelle est l'ampleur de ces modifications si elles existent ?

Pour répondre scientifiquement à ces trois questions, les données disponibles sont insuffisantes. A partir des BQE et BQR on peut relever le nombre de chutes et les hauteurs correspondantes de jour (6h TU à 18 h TU) et de nuit (18h à 6h TU). Etant donné le décalage d'une heure par rapport au temps universel, cette division peut être considérée comme acceptable bien que sommaire. Pour une analyse plus précise, en tranche de six heures par exemple, les relevés des pluviographes

enregistreurs sont nécessaires, mais l'échantillon est trop limité, notamment en juillet, sauf à Montpellier et Bordeaux. Les BQE et BQR, incomplets, ne donnent pas l'heure précise des averses.

Malgré ces imperfections, une première analyse est faite sur dix ans de relevés tirés des BQE et BQR pour les stations tests; puis pour Montpellier et Bordeaux, une seconde étude fondée sur les données des pluviographes décompose la journée en quatre période de six heures, en partant de 12 heures. Aucune donnée n'est disponible pour répondre à la troisième question. Les bilans énergétiques, établis d'après les photos satellitaires infrarouges, permettront dans quelques années de reprendre cette dernière question.

La réponse aux deux premières questions est apportée par le test du chi-deux, appliqué au nombre d'averses et aux hauteurs correspondantes. En comparant les fréquences observées et les fréquences théoriques, variables suivant le nombre de tranches journalières, il est possible de vérifier si le rythme des chutes et des hauteurs est indépendant du cycle journalier. Pour une division de la journée en deux périodes, les deux fréquences théoriques sont 0,50.

En décembre et juillet, les tests du chi-deux sont toujours négatifs pour la première hypothèse, aussi bien pour les chutes classées suivant le découpage du BQE-BQR, que celles relevées en quatre épisodes sur les pluviographes enregistreurs. Les écarts entre fréquences observées et fréquences théoriques ne sont donc pas significatifs, même si à l'ouest du Rhône et jusqu'au littoral atlantique, les averses sont plus fréquentes le jour en décembre et juillet, deux à quatre de plus en moyenne; cet écart est dû au hasard. Ainsi, en été la convection thermique, et en hiver la stabilisation par refroidissement sont insuffisantes pour modifier

le rythme journalier des précipitations (9). Ces premières conclusions ne portent que sur le caractère déterminant du cycle thermique; la seule convection ne parvient pas à provoquer des averses. Cette constatation n'est pas surprenante, comme le prouvent les résultats du chapitre huit : aucun facteur isolé n'est déterminant, seuls les complexes sont efficaces.

Les réponses à la seconde question opposent décembre et juillet. En décembre, les tests, négatifs, indiquent que le refroidissement continental n'est pas suffisamment puissant pour bloquer les ascendances donc les précipitations. Pour les séries découpées en tranches de six heures, l'écart est significatif à Bordeaux; à la fin de la nuit, le refroidissement s'accompagne de pluies moins intenses. L'écart, négatif, est en moyenne de 6 mm. En juillet, tous les tests, positifs, indiquent que les hauteurs obéissent à un cycle journalier. La convection thermique, qui ne provoque pas d'averses au coeur des brûlantes après-midi, accentue toutes les ascendances. L'écart moyen, faible en Aquitaine océanique, s'accroît d'ouest en est; le maximum absolu, 11 mm, est atteint à Biarritz tandis que l'écart relatif est plus fort à Marignane. Les deux écarts absolus en hiver et en été ne sont pas comparables, les hauteurs mensuelles étant différentes : relativement l'effet de convection, jamais isolé, est plus important. Il varie de 18 % à Bordeaux à plus de 30 % à Marignane.

- (9) Quand les séries seront plus longues, il sera possible de descendre à l'échelle horaire pour préciser l'analyse.

TAB 3.3 PLUIES DE JOUR ET DE NUIT MOYENNES EN
JUILLET (1961-1970)

	Jour	Nuit	Convection + hasard
Bordeaux	30 mm	21 mm	9 mm
Biarritz	32 mm	21 mm	11 mm
Toulouse	27 mm	17 mm	10 mm
Perpignan	17 mm	10 mm	7 mm
Marignane	10 mm	4 mm	6 mm
Nice	16 mm	8 mm	8 mm

Les deux séries de Montpellier et Bordeaux font apparaître une anomalie; les hauteurs sont plus élevées de 12 à 18 heures, mais aussi de 24 à 6 heures. Le premier écart positif a pour origine indirecte le réchauffement diurne; mais le second maximum moins important est cependant aberrant. Des météorologues émettent l'hypothèse suivante : des mouvements verticaux naissent en fin de nuit, sous l'effet de masse des couches supérieures. Cette hypothèse, actuellement invérifiable, expliquerait cette seconde pointe.

La dernière question reste sans réponse en l'absence de données. Certes les 5 mm d'écart à Marignane, représentent plus du tiers des hauteurs en juillet, mais ce nombre intègre aussi des déviations dues au hasard, et aucune conclusion définitive plus précise, ne peut être donnée. Tout au plus peut-on affirmer qu'un cinquième des hauteurs environ sont associées indirectement à la convection thermique. Il est actuellement impossible dans les ascendances de mieux préciser la part relative de la convection thermique.

3-4 ESPACES ET REGIMES PLUVIOMETRIQUES

3-4-1 LES ESPACES PLUVIOMETRIQUES

- Variations des espaces pluviométriques en fonction des types d'analyses factorielles (Fig 3.2 et 3.3).

Les divisions spatiales obtenues à partir des deux analyses factorielles sont sensiblement différentes. En Aquitaine, deux faits majeurs persistent : la pluviosité en Aquitaine centrale s'organise toujours en noyaux autour de l'axe de la Garonne. Plus important encore, la province d'Aquitaine centrale s'étend au-delà du seuil de Naurouze qui ne constitue pas une limite climatique, mais une apophyse du domaine aquitain; quel que soit le mode d'analyse retenu, Carcassonne n'appartient pas au domaine méditerranéen. Ces deux traits communs et importants soulignés, des différences apparaissent alors nettement.

L'analyse R-mode (Fig 3.2) distingue le pays basque, qui s'estompe à la lecture des résultats de l'analyse Q-mode, du moins sur le littoral, car le piémont basque demeure original. Cette continuité entre littoral basque et littoral landais tendrait à démontrer que l'analyse Q-mode est moins précise. En réalité, elle confirme les résultats de l'analyse discriminante effectuée à partir de la carte R-mode : la faible intensité de cette limite. D'autre part, l'absence relative de station, handicap certain, interdit de formuler une conclusion définitive.

Une différence majeure apparaît entre les deux cartes. Les limites obtenues par la première méthode épousent assez fidèlement le tracé des isohyètes annuelles, en Aquitaine et en Méditerranée. Elles sont cal-

quées, sauf quelques déphasages au niveau du piémont pyrénéen, sur les courbes de niveau. A ces limites zonales, l'analyse Q-mode substitue des limites essentiellement méridiennes qui recoupent les grands traits d'agencement du relief (Fig 3.3). Les Pyrénées constituent toujours une province originale, retrécie à l'est, mais les régions de transition sur le piémont se resserrent ou disparaissent; même le piémont basque, très original, est limité dans son extension.

Sur les littoraux méditerranéens, l'analyse Q-mode est nettement plus précise comme le démontre le découpage de la province du Roussillon; sur la carte R-mode, une seule unité spatiale apparaît, mais sur la carte Q-mode, quatre régions sont distinguées. Cette précision traduit bien la réalité; sans retenir des critères empiriques, on sait que la variabilité spatiale de tous les éléments du complexe pluviométrique y est maximum et il est donc logique d'obtenir ce découpage très fin.

D'autre part, l'analyse R-mode regroupe les climats pluviométriques varois et languedociens, car les hauteurs de pluies annuelles sont sensiblement égales; l'organisation spatiale du delta rhodanien, sous forme d'auréoles concentriques, représentées sur la carte R-mode, reproduit presque exactement une carte d'isohyètes annuelles, quelques nuances exceptées. L'analyse factorielle R-mode est donc très pauvre. Inversement, l'analyse Q-mode, plus précise, permet une approche très fine de la réalité, et elle rend mieux compte du régime pluviométrique. La seule exception, celle du littoral basque, est principalement due à l'absence de données, même si les régimes de Biarritz et de Naujac-sur-Mer sont très semblables.

- De la validité des résultats empiriques.

Il est difficile de comparer ces résultats et ceux

de nos devanciers. La première difficulté réside dans la rareté de cartes de régimes; les cartes d'A. Angot, au début du siècle, ou celles de H. Gaussen représentent les modules mensuels ou annuels sous forme d'isohyètes (10). Les régimes ne font pas l'objet d'une représentation cartographique, et même l'atlas de France ne comporte aucune carte de ce type.

Les cartes de régimes pluviométriques disponibles sont celles de R. Musset et E. Berthaud pour la France entière et celle d'E. Bénevent sur le sud-est français (11). Toutes ces cartes reposent sur deux principes, la confection d'indices mensuels, puis le regroupement des saisons en trimestres. Ces deux techniques sont sujettes à caution. La critique du découpage saisonnier est faite ultérieurement; tout indice sous forme de quotient est critiquable quand le dénominateur est une variable aléatoire : deux rapports égaux peuvent être obtenus avec des dénominateurs et des numérateurs différents, exprimant des réalités distinctes :

$$I_1 = 60/100, \quad I_2 = 600/1\ 000 \quad \text{et} \quad I_1 = I_2$$

La construction d'indices donne des résultats toujours peu logiques.

(10) A. Angot, Les régimes pluviométriques de la France (81).

H. Gaussen, La distribution des pluies en France selon les saisons (104).

(11) R. Musset, La distribution des pluies en France selon les saisons (113).

E. Berthaud, Maxima et minima pluviométriques saisonniers en France (87).

E. Bénevent, La pluviosité dans la France du sud-est (83).

Les deux cartes d'E. Berthaud, très schématiques, représentent quatre types d'espaces pluviométriques dans les Midis, alors que les analyses factorielles donnent une division spatiale plus fine, comprenant 12 régions au moins. La carte de R. Musset montre une opposition entre le sud-ouest et le sud-est; sur les rivages méditerranéens, le découpage spatial est très grossier, et les stations de Perpignan, Montpellier, Marseille, Toulon et Nice appartiennent au même type. Inversement, en Aquitaine de nombreuses microrégions apparaissent, comme si la variabilité spatiale était plus forte que sur les littoraux méditerranéens. En fait, ce découpage, mal adapté à la réalité, a pour cause la faible variabilité séquentielle entre les mois en Aquitaine centrale, tandis qu'elle est forte en Méditerranée. Le découpage obtenu est donc inversement proportionnel aux variations de mois à mois telles qu'elles s'inscrivent dans l'espace.

- Les espaces pluviométriques et leurs limites.

Les espaces pluviométriques, sont décrits à partir des résultats de la chaîne analyse Q-mode -analyse discriminante (Fig 3.3). Le domaine aquitain se divise en trois provinces, dont l'étendue varie fortement; la province atlantique (1), très étroite au sud où elle se confond avec le littoral, s'élargit au nord de l'Adour. Elle se subdivise en deux "régions" : la première littorale contourne l'estuaire de la Gironde au nord (1a), alors que plus au sud la limite ne s'écarte guère de la côte. A l'est, une seconde bande méridienne qualifiée de semi-océanique apparaît (1b); elle s'incurve de Périgueux aux Landes méridionales. La limite séparant ces deux régions est une des plus diffuses trouvée; les probabilités données par l'analyse discriminante, inférieures à 70 %, traduisent bien l'unité atlantique.

Au sud-ouest du domaine aquitain; la province basque mal définie, n'atteint pas le littoral (2). Elle forme en réalité une apophyse de la région semi-océanique; la limite nord de cette province, peu accusée, est cependant moins floue que celle séparant les deux régions atlantiques. En fait, la province basque est originale essentiellement par ses hauteurs d'eau recueillies, très élevées, plutôt que par son régime.

La troisième province est nettement plus vaste (3). La région toulousaine déborde à l'est dans le seuil de Naurouze, et au sud sur le piémont pyrénéen (3b); au sud-est s'individualise une région ariégeoise très originale par l'intensité de ses limites (3c). Entre la région toulousaine et semi-continentale atténuée la limite est une fois encore diffuse; par contre, la région ariégeoise est véritablement un isolat, difficile à mettre en relief par des études empiriques.

Le fait le plus surprenant en Aquitaine est cependant la limite entre province atlantique et province intérieure. De nombreux travaux insistent sur la lente dégradation entre Aquitaine atlantique et Aquitaine centrale. L'analyse des simples corrélations, proposée par H. Schneider (12), montrait déjà que les deux espaces s'individualisent nettement; l'analyse discriminante confirme cette division, mais surtout démontre la netteté de ce seuil.

Sur les rivages méditerranéens apparaissent quatre provinces : le Roussillon, le bas-Rhône, le Var et la côte-d'Azur au sens strict. La province du Roussillon s'étend au nord vers Sète (4); elle est divisée en deux régions côtières et deux régions intérieures de très faibles étendues, témoignage d'une très

(12) H. Schneider, Esquisse d'un profil pluviométrique de la Gironde à la Méditerranée (118).

grande variabilité spatiale des précipitations (4a, 4b, 4c, 4d).

A l'est, la province rhodanienne est différente, l'opposition entre le littoral et l'intérieur existe, mais elle est faible par rapport à celle qui oppose le Languedoc et la Provence occidentale à l'est (5a, 5c); leur limite, peu accusée, n'épouse pas tout à fait le tracé du Rhône, mais se situe légèrement à l'ouest; plus marquée que certaines limites en Aquitaine, elle n'est cependant pas très tranchée.

La province varoise, absente sur la carte R-mode, s'individualise nettement (6); elle est centrée sur le bassin de l'Argens, et mord dans l'intérieur sur l'arrière pays niçois. La province de la côte-d'Azur, de forme allongée (7), s'étend uniquement sur le littoral, et les montagnes du pays niçois appartiennent à une autre province pluviométrique.

Les provinces pluviométriques très vastes en Aquitaine, perdent de l'ampleur sur les rivages méditerranéens, même si la province du comté de Nice se prolonge sur la riviéra italienne. Aux vastes espaces aquitains, succède le morcellement méditerranéen; cet éclatement spatial est un des caractères fondamentaux non seulement de la pluviométrie, mais même du climat en Méditerranée occidentale; il invite le chercheur à la prudence dans la découverte de lois, car les généralisations hâtives sont dangereuses. Les autres analyses sur divers éléments du complexe pluviométrique démontrent l'existence de tendance méditerranéenne, mais de très nombreux climats différents.

Le second thème important concerne les limites. Des études dynamiques permettent sans doute de qualifier ces seuils d'origine peut-être géographique, aérologique, parfois même complexe. Toutes les limites méridiennes sont plus franches que les limites zonales.

On peut donc poser comme hypothèse pour des études ultérieures, que dans les Midis français les mécanismes méridiens sont plus importants que les influences zonales; cela déjà perçu en Méditerranée, doit être vérifié.

3-4-2 LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES

A l'échelle des Midis, les saturations des variables (Fig 3.4) et la matrice des corrélations sont l'illustration d'un premier modèle saisonnier. Deux saisons s'affirment; la première pluvieuse, débute en octobre et s'achève en décembre, et la seconde sèche, regroupe les trois mois de juin à août. Le bimestre janvier-février forme une troisième saison, la distance entre ces deux points étant faible. La matrice de corrélation, et la position du bimestre par rapport aux autres mois permettent de rattacher partiellement janvier-février à la saison pluvieuse. La corrélation entre février et décembre (0,87) est plus forte que celle entre janvier et mars (0,64) et même supérieure à celle entre février et mars (0,60).

Les saisons intermédiaires sont de types divers; le printemps est mal représenté, les points de mars, avril et mai sont très espacés et les corrélations sont faibles entre ces mois. Septembre constitue, à lui seul, une saison par sa position par rapport aux axes factoriels; il est cependant plus proche du trimestre pluvieux car $R_{9-10} = 0,80$ alors que $R_{9.8} = 0,47$ (valeur non significative).

A l'échelle des domaines les régimes se précisent (Fig 3.5). En Aquitaine, la saison des pluies commence en octobre et dure jusqu'à la fin janvier. Par rapport au schéma général, janvier se classe donc dans la saison pluvieuse, et le maximum de décembre est plus net.

TAB 3.4 MATRICE DES CORRELATIONS DES PLUIES
MENSUELLES MOYENNES (échelle des Midis).

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
J	100											
F	93	100										
M	64	60	100									
A	80	77	80	100								
M	66	67	68	91	100							
J	53	57	39	73	87	100						
Jt	44	50	23	56	72	92	100					
A	45	48	27	58	73	91	94	100				
S	41	31	71	61	59	44	34	47	100			
O	61	52	84	72	60	33	18	27	80	100		
N	67	59	76	67	51	22	6	13	61	90	100	
D	91	87	83	82	66	42	31	34	53	77	79	100

La saison estivale débute bien en juin, se prolonge en septembre, mais elle se décompose en trois parties : juin, août et septembre forment un ensemble de points bien groupés, alors que juillet, seul mois véritablement sec, est isolé. Le régime s'organise donc en quatre saisons, deux de quatre mois, hiver et été, une de trois mois février-avril, et mai qui constitue à lui seul une saison. L'originalité du bimestre janvier-février s'estompe : février est rattaché au printemps qui constitue une véritable saison.

Sur les littoraux méditerranéens, le découpage est moins complexe. La saison des pluies dure de septembre à décembre; par rapport aux modèles, général et aquitain, septembre et non janvier est rattaché à la saison pluvieuse. Aucun mois ne fait figure d'exception, comme décembre en Aquitaine, le nuage de points est plus concentré. L'été dure trois mois, de juin à août; la dis-

persion des points représentatifs est aussi moins grande, car juin et août sont véritablement secs, comme juillet. La troisième saison commence en janvier et s'achève en mai; l'originalité du bimestre janvier-février n'est décelée que sur l'axe factoriel 3.

A l'échelle régionale, la complexité ne s'estompe pas, et de nouvelles nuances apparaissent (Fig 3.6). Sur le littoral atlantique, la saison des pluies froides dure cinq mois, d'octobre à février, bien que le point représentant ce dernier mois s'écarte légèrement. A cette première saison humide, succède le trimestre mars-mai, moins homogène : les distances entre les points sont plus grandes. Le coeur de la saison sèche correspond au bimestre juin-juillet. Dès août, une nouvelle saison de transition se dessine et se prolonge en septembre.

Plus au sud dans la province basque, le régime varie peu. Février est moins bien intégré à la longue saison pluvieuse, car les averses de novembre et décembre sont très copieuses. D'autre part, le bimestre juin-juillet est moins groupé que sur le littoral atlantique.

Le modèle saisonnier des pluies en Aquitaine centrale est plus diversifié. Les pluies de saison froide ne persistent pas au-delà de janvier. La première saison intermédiaire de février à avril, possède une véritable unité, les points étant très rapprochés les uns des autres. On observe ensuite deux bimestres typiques, mai-juin et août-septembre, séparés par juillet qui représente à lui seul la saison sèche d'été. Ce modèle, avec cinq saisons de durée inégale, est donc fort complexe.

Les types méditerranéens se ressemblent par leur rythme général, un printemps et un automne humide que sépare un été sec, modèle déjà reconnu par nos devanciers. Les principales nuances ont pour origine la lon-

gueur des saisons et la position des maxima. En Roussillon, la saison pluvieuse débute en septembre et se prolonge en janvier. Ce rattachement de janvier, imparfait, témoigne cependant des relations climatiques avec l'Aquitaine intérieure. La seconde saison pluvieuse dure de mars à la fin mai. Le trimestre de juin à août forme une véritable saison sèche, tandis que le minimum d'hiver est à peine perceptible en février.

Dans le bas-Rhône, apparaît un nouveau modèle. La saison des pluies commence bien en septembre, mais elle prend fin en décembre et non pas en janvier. Le printemps est moins bien organisé qu'en Roussillon, le point figuratif du mois de mai s'écarte de ceux de mars et avril. D'autre part, le bimestre relativement sec de janvier-février est caractéristique. Le régime varois s'apparente à celui du bas-Rhône; seule nuance, le mois de septembre devient une saison de transition, plus proche il est vrai de la saison des pluies.

Sur la côte-d'Azur, le rythme saisonnier est très marqué. Le trimestre sec de juin à août et la saison humide d'octobre à décembre sont bien individualisés; en outre, l'écart s'accroît entre janvier-février et les deux saisons qui l'encadrent. Seuls les mois véritablement de transition sont difficiles à classer; septembre, mois de transition comme dans le Var, est plus proche de l'été que de l'automne-hiver pluvieux. Enfin, mai annonce déjà la sécheresse estivale.

L'analyse multivariée des régimes pluviométriques démontre trois faits précis. En premier lieu, la notion de régime n'intègre pas seulement l'échelle temporelle, mais elle dépend aussi de l'échelle spatiale. Les différences consignées dans les tableaux et les cartes sont révélatrices. Le schématisme saisonnier propre à toute classification varie d'intensité suivant l'échelle spatiale retenue.

En affinant le modèle dans l'espace, des distorsions temporelles se manifestent. Sur les cartes, les mois mal classés, ont deux causes; à l'échelle des provinces, l'imprécision a pour origine le découpage mensuel, et en gardant ce cadre mensuel, à une échelle spatiale plus fine, l'imprécision s'accroît; pour les régimes établis à partir des relevés mensuels, les domaines sont l'échelle spatiale convenable; pour obtenir des modèles rationnels, dans un cadre spatial plus restreint, il faut travailler sur des hauteurs différentes, décennaires ou mieux pentadaires.

Troisième conclusion, sans doute la plus importante : il est difficile d'élaborer un modèle simple mais objectif des rythmes pluviométriques. Le modèle classique est erroné, mais toute division a priori aboutit à des mécomptes. Des saisons de quatre mois ou de deux mois sont elles aussi arbitraires, et donneraient des représentations cartographiques mauvaises.

CONCLUSION

De nombreuses conclusions s'imposent au terme de ce chapitre :

- L'année pluviométrique, très irrégulière, ne dure pas toujours douze mois; seules un tiers environ des années pluviométriques obéissent à ce schéma classique. D'autre part, en moyenne, elle ne débute pas en janvier, et moins encore en décembre, mois qui prolonge la saison des pluies d'automne. L'année des hydrologues est assez satisfaisante, même si parfois il est préférable de retenir comme point origine un mois printanier, notamment mars ou avril.

- La loi de distribution des pluies annuelles est bien gaussienne. Les modèles mensuels, plus complexes, ne sont pas tous du type gamma, mais il est difficile de préciser et de formuler des règles définitives, en

raison de la brièveté des séries. Les mois d'été s'écartent le plus du modèle mathématique proposé par nos devanciers, peut-être faut-il tourner cette difficulté en retenant un modèle gamma tronqué en kassa.

- Les divisions spatiales ont été conduites sous deux formes; la première, empirique très lente, la seconde, plus objective, effectuée en quelques heures. Outre la rapidité, les analyses factorielles et discriminantes affinent le découpage à l'échelle régionale. Elles font apparaître des décalages spatiaux à l'échelle provinciale par exemple celui du Languedoc, ou des faits surprenants; la province pyrénéenne ne se calque pas parfaitement sur les reliefs importants, mais la concordance est presque parfaite en Aquitaine centrale où s'isole la gouttière de la Garonne. Surtout ces techniques ont permis de qualifier les limites provinciales et régionales; toutes les limites nettes sont méridiennes, même en Aquitaine.

- La notion de régime dépend des échelles temporelles et spatiales. Aucun des régimes pluviométriques des hauteurs ne s'inscrit dans un cadre fixé a priori, la durée des saisons variant fortement.

C H A P I T R E Q U A T R E

LA VARIABILITE DES HAUTEURS

4-1 PROBLEMES ET TECHNIQUES

Tout géographe qui dresse un bilan climatique même modeste, consacre quelques lignes aux accidents pluviométriques. Ce bilan devient impératif pour une étude sur les Midis, car la variabilité est un caractère majeur du complexe climatique de ces espaces : "Il s'agit cependant encore là de moyenne, et pour préciser les conséquences écologiques de la pluie, il convient d'arriver à l'analyse des phénomènes réels. Or la variabilité de la pluie est extrêmement élevée d'une année à l'autre" (1).

Tous les géographes, après avoir souligné l'insuffisance des moyennes, citent des exemples précis de paroxysmes pluviométriques. Cette méthode ponctuelle, très appréciée des "régionalistes" est peu féconde, et très incomplète. Le géographe décrit trop souvent, avec un luxe de précisions des accidents, sans se soucier de distinguer des types, et plus encore de déterminer leur fréquence. Une année très pluvieuse peut être due à des excès de printemps ou d'automne, et les conséquences écologiques ou humaines sont très différentes.

Dans cet ouvrage, il n'est pas étudié tous les aspects de la variabilité des pluies. Une telle étude doit tenir compte des différentes échelles; entre le micro-climat artificiel et le climat zonal, dont la réalité est controversée, s'intercalent des domaines, provinces, régions climatiques. A chaque échelle spa-

(1) R. Dugrand, La garrigue montpelliéraine (99).

tiale, doivent être appliquées des techniques spécifiques de recherche. L'étude des accidents pluviométriques à l'intérieur d'une cité, ne peut être conduite avec les techniques retenues pour l'analyse des variations sur un espace régional. Il est impossible dans cette thèse, de présenter les variations spatiales à toutes les échelles, thème qui demande un ouvrage complet, et la comparaison, idée majeure de ce livre, ne pourrait être menée à bien. L'examen des variations dans les deux domaines, et dans les régions est l'objet de ce chapitre.

La notion de variabilité est aussi dépendante de l'échelle temps; les variations géologiques et les irrégularités annuelles ou saisonnières nécessitent des approches différentes. Seules les variations au cours du dernier siècle, et surtout les irrégularités actuelles sont analysées.

Deux grands types de variabilité existent, la variabilité structurelle et la variabilité dynamique; la première ne dépend pas de l'ordre de rangement des unités statistiques, et les différents paramètres définissent une dispersion indépendante du temps. La seconde, intègre l'ordre chronologique.

4-1-1 LA VARIABILITE STRUCTURELLE

Les études portant sur la variabilité structurelle sont pratiquement inexistantes; les cartes des déciles élaborées par Ch. P. Peguy (2) permettent de déterminer les hauteurs d'eau minimum et maximum atteintes une fois en dix ans. Les déciles, paramètres de dispersion absolue, sont issus de l'analyse fréquentielle, mais ce travail correspond à une échelle spatiale différente.

- (2) Cartes climatiques de la France : coupure de Gap et Nice.

Pour mesurer et préciser l'intensité des irrégularités pluviométriques de nombreux paramètres sont employés; l'écart-type, et le coefficient de variation, rapport indépendant des unités de mesures, sont les plus utiles, au moins pour les distributions normales ou peu dissymétriques, comme les hauteurs annuelles et mensuelles. Selon Grisollet "C'est ce coefficient de variation qui se révèle la plus satisfaisante des mesures de dispersion utilisables dans l'étude comparée de la variabilité des précipitations en plusieurs stations" (3). L'écart-type est un paramètre de dispersion absolue, tandis que le coefficient de variation mesure la variabilité relative.

Il existe deux écarts-types et donc deux coefficients de variation correspondants. Les premiers mesurent la dispersion d'une série complète et les seconds sont employés sur les échantillons. Dans cet ouvrage, les vingt données annuelles sont un échantillon, et la seconde formule est retenue; ce choix permet d'obtenir l'intensité des irrégularités, non seulement pour les deux dernières décennies, mais aussi pour une série plus longue, commençant à l'aube du vingtième siècle, si aucune tendance n'existe, ce qui est démontré.

Ces techniques statistiques simples sont appliquées aux accidents climatiques annuels et mensuels; le géographe désire aussi apprécier les paroxysmes dans leur "réalité concrète", et une typologie des années pluvieuses et des années sèches a été établie, tâche difficile mais nécessaire pour éviter le "pointillisme, l'exceptionnalisme", défaut des études de variabilité en géographie.

(3) H. Grisollet, B. Guilmet, R. Arlery, Climatologie, méthodes et pratiques (54).

La première difficulté est de définir une année humide et une année sèche. Les conventions d'ordre quantitatif pour définir un mois, une saison, ou une année humide sont nombreuses. Les définitions proposées par Grisollet (4), dépendent du décilage de la série des hauteurs annuelles; en retenant les quintiles, on admet comme pluvieuses les années dont la hauteur recueillie correspond au cinquième intervalle, et comme sèches les années dont la lame annuelle est inférieure au premier quintile.

La seconde difficulté réside dans l'élaboration d'une typologie logique. L'ampleur spatiale, premier critère, est divisé en cinq branches; l'excès pluviométrique annuel peut affecter l'ensemble des Midis, seulement un des deux grands domaines, uniquement une province climatique, ou enfin plusieurs provinces climatiques appartenant aux deux domaines. Le deuxième critère est la répartition des excès dans le temps; elle peut être continue pendant toute l'année, affecter les périodes humides ou sèches, ne posséder aucun lien avec le régime moyen, ou être due à un accident pluviométrique très bref.

Ce schéma logique donne vingt cinq types différents d'années pluvieuses, en retenant un seul seuil, le quatrième quintile et deux critères de répartition, spatial puis temporel; il est complet, même si certains types ont peu de chance d'exister, comme un bref accident pluviométrique provoquant un excès généralisé aux deux Midis; ces deux critères s'excluent presque automatiquement et le type 1e est peu probable, remarque qui n'enlève rien à la valeur exploratoire du modèle proposé (Fig 4.5).

Cet essai de typologie mérite quelques brèves réflexions; il est logique, car dérivé d'analyses combi-

(4) H. Grisollet, B. Guilmet, R. Arlery, Climatologie, méthodes et pratiques (54).

natoires très simples. Les critères choisis sont généraux, et d'autres auteurs peuvent proposer des facteurs plus précis, notamment si leur typologie doit être au service de la climatologie "applicable", agricole ou touristique. La valeur scientifique d'une typologie dépend d'un choix judicieux de critères, mais aussi de leur mise en ordre logique.

Les années pluvieuses et sèches ont été définies à partir des courbes de fréquences relatives cumulées des lames d'eau annuelles tracées pour les quatre stations de Bordeaux, Toulouse, Marseille et Nice; à Toulouse (50 ans) et Nice (70 ans) les séries sont plus brèves. Sur ces courbes les deux quintiles ont été déterminés graphiquement. Les séries de Montpellier et de Pau-hôpital, plus courtes, étaient aussi partiellement disponibles.

4-1-2 LA VARIABILITE DYNAMIQUE

L'analyse de la variabilité dynamique, comme celle de la variabilité structurelle peut être conduite à des échelles différentes, mensuelle, annuelle ou séculaire. A l'échelle mensuelle et annuelle, il est intéressant de caractériser les variations de pluviosité qui s'observent d'une valeur à la suivante, par exemple de janvier à février, ou de l'année 1951 à l'année 1952. Pour mener à bien une telle étude, le géographe dispose d'un coefficient de variabilité interséquentielle défini par la relation :

$$V_i = \frac{N}{N-1} \cdot \frac{\sum |X_i - X_{i+1}|}{X_i}$$

il a été calculé, uniquement entre les mois successifs, pendant vingt ans.

L'évolution des précipitations au cours du dernier siècle a donné lieu à de nombreuses études, comme le montre le gros volume édité par l'UNESCO après le colloque de Rome (5). L'étude proposée, incomplète, ne répond pas complètement aux trois grandes questions : existent-ils des variations tendanciellles des précipitations ? Une périodicité ? Quelles sont leurs causes ?

La recherche des causes au sens où l'entend le géographe, à savoir la recherche du POURQUOI dépasse le cadre de cet ouvrage; l'analyse des situations-circulations pendant au moins un siècle, est un travail impossible pour un seul individu; par ailleurs, il est inutile de compiler les innombrables hypothèses non vérifiées sur la cause des variations climatiques.

La découverte de cycles climatiques a donné lieu à une littérature très abondante dont l'intérêt scientifique est fort variable : "Mais la recherche de telles périodes pour laquelle nous disposons aujourd'hui de méthodes statistiques très efficaces, adaptées aux ordinateurs modernes, n'a conduit qu'exceptionnellement à un résultat. Il est vrai qu'il est difficile de trouver une période de longueur comprise entre deux jours et cent ans qui n'ait pas été découverte au moins une fois dans une courte série d'observations météorologiques" (6). Cette constatation de Flohn démontre la multiplicité des travaux et leurs limites. Il existe des cycles réels, journaliers et annuels, mais ce type de recherche est trop souvent l'occasion d'exercices plus philosophiques que scientifiques.

La démarche d'une analyse chronologique comprend différentes étapes; premièrement, vérifier si la série est formée de variables aléatoires, ou si une organisation tendancielle et / ou cyclique intervient. Les

(5) UNESCO, Les changements de climat (78).

(6) H. Flohn, Le temps et le climat (50).

tests, mis au point par Kiveliovitch et Vialar, répondent à cette question (7). Ces tests statistiques indiquent l'absence d'organisation d'une série. Pour les trois séries de Bordeaux, Marseille-observatoire, et Nice-Gioffredo les tests des maxima et des phases, et des coupures ont été effectués. Sans entrer dans les détails techniques, une série statistique est purement aléatoire si la probabilité que X_i prenne une valeur X_{i+1} est indépendante de la valeur précédente X_i .

Ces tests s'appliquent aux seules valeurs annuelles, car l'analyse mensuelle est obligatoirement positive à cause du cycle saisonnier. Aucun résultat significatif n'est apparu pour ces trois stations, conclusion identique à celle formulée par P. Garenc (8) pour le bordelais, bien qu'elle ait mélangé deux populations à l'intérieur de la série statistique analysée. Actuellement, rien ne permet d'affirmer la présence de tendance ni de cycles pluviométriques dans les Midis, conclusion objective, mais contraire aux idées couramment répandues.

L'absence de cycle ne signifie pas l'absence de variations, mais celles-ci ne présentent pas d'organisation précise. P. Tschaeglé Appert note : "Les grandes périodes de sécheresse et de pluviosité ont eu des durées constantes de huit ans" à Nice, mais il ajoute : "Ces périodes ne se sont pas reproduites régulièrement dans le temps" (9).

Les phases d'excès et d'indigence pluviométrique au cours du dernier siècle ont été analysées avec les quatre stations de Bordeaux-observatoire, Toulouse,

(7) Kiveliovitch, J. Vialar, Etude statistique des séries chronologiques (15).

(8) P. Garenc, Contribution à l'étude du climat d'entre Loire supérieure et Gironde (102).

(9) P. Tschaeglé Appert, Les grandes périodes de sécheresse et de pluviosité à Nice-Gioffredo depuis 1893 (120).

Marseille-observatoire et Nice-Gioffredo, choix dicté par la longueur des séries et par leur rigueur; la série de Pau-hôpital, trop brève, et celle de Montpellier, trop incomplète, sont exclues.

Cette étude a été menée avec trois groupes de techniques. Ayant constaté l'absence d'organisation, il était inutile de procéder à une analyse spectrale; le découpage des séries en tranches de trente ans puis la comparaison des résultats sont des démarches trop empiriques; elles ignorent les oscillations. Une solution moins mauvaise, car l'intervalle de temps est plus court, consiste à découper la série par décennie puis à calculer l'écart-type et le coefficient de variation pour chaque groupe. La troisième solution est la détermination des moyennes mouvantes; moins critiquable elle n'est cependant pas parfaite, car elle introduit une organisation factice, et surtout exagère l'ampleur des phases. Il était d'autre part nécessaire d'observer les variations de régime pendant les phases sèches et pluvieuses, pour déterminer l'origine de l'évolution. En outre, une phase humide peut être l'addition d'années moyennement pluvieuses ou celle de quelques années records, dernier thème analysé dans cette étude.

4-2 LA VARIABILITE STRUCTURELLE DES HAUTEURS

4-2-1 LA VARIABILITE ANNUELLE

Toutes les figures traduisent visuellement l'irrégularité des pluies dans les Midis. Première loi : la variabilité absolue est plus grande quand les hauteurs d'eau recueillies sont plus élevées; les valeurs des écarts-types sont directement proportionnels aux totaux annuels, et malgré le nombre relativement modeste de stations, il serait possible d'ajuster des droites

fonctionnelles (Fig 4.1) :

$$Y = aX + b$$

Cette règle n'est cependant vérifiée qu'à l'échelle régionale, et sans doute à des échelles inférieures. Au-dessus de ce seuil spatial, elle s'applique mal, puis devient fausse à l'échelle des domaines.

La pente des droites, plus faible dans les régions aquitaines, traduit une variabilité absolue moindre, mais la différence est surtout nette entre le littoral et l'intérieur; en Aquitaine orientale, Languedoc, et bas-Rhône où les points correspondent à des stations "continentales", et en Roussillon, les données forment une nébuleuse mal ordonnée de pente plus forte, illustration de la faiblesse de la relation entre hauteur et variabilité absolue. D'autre part, l'irrégularité des précipitations s'accroît dans tous les espaces intérieurs.

Les accidents pluviométriques annuels sont plus intenses et plus fréquents dans les régions méditerranéennes, observation déjà faite par tous les auteurs, mais les exceptions sont nombreuses. Dans le Var et le comté de Nice, les variations relatives interannuelles ne sont pas plus fortes qu'en Aquitaine; les accidents pluviométriques annuels existent certes, mais à l'échelle de l'année ils n'offrent aucun caractère dramatique.

Sur les rivages méditerranéens, la répartition des coefficients de variation est simple (Fig 4.2). Les irrégularités interannuelles les plus grandes caractérisent les plaines du Roussillon, où les accidents apparaissent nettement car les moyennes annuelles sont très faibles et "la variabilité tend à être plus grande là où les hauteurs d'eau recueillies sont moindres" (10).

- (10) H. Grisolle, B. Guilmet, R. Arlery, Climatologie, méthodes et pratiques. Cette loi est mal énoncée car il faut préciser qu'il s'agit de la variabilité relative et non pas absolue (54).

Cette règle est parfois perturbée; dans les basses terres rhodaniennes, les précipitations annuelles sont souvent inférieures à celles relevées dans les plaines du Roussillon, mais les coefficients de variation plus faibles attestent une irrégularité moins grande.

Plus apparente que cette proportionnalité inverse, est la décroissance d'ouest en est de l'intensité des accidents pluviométriques. Les hauteurs annuelles s'écartent moins de la moyenne dans le comté de Nice qu'en Catalogne. Les accidents pluviométriques affectent essentiellement les plaines et plateaux à l'ouest du Rhône. En Aquitaine, où aucune station ne totalise des hauteurs annuelles très diversifiées, la variabilité relative des précipitations diminue de la côte vers l'intérieur, évolution inverse à celle des régions méditerranéennes; mais la pluviosité moyenne diminue de la côte vers la Garonne, tandis qu'elle augmente du rivage aux plateaux élevés en Languedoc. En Aquitaine, la relation inverse entre hauteur annuelle et variabilité relative se vérifie donc. Cette variabilité décroît aussi du nord au sud, spécialement en Aquitaine occidentale. Les écarts-types records caractérisent la côte basque, où les hauteurs moyennes sont les plus élevées si bien que les coefficients de variation sont faibles. Les accidents climatiques non négligeables, sont relativement peu dangereux.

Dans le cadre de l'année "normale", les irrégularités pluviométriques ne sont donc pas un caractère spécifiquement méditerranéen; l'ensemble des Midis subit ces aléas climatiques. L'intensité de ces paroxysmes est relativement plus forte en Méditerranée, mais les écarts absolus sont aussi très élevés en Aquitaine, sauf en toulousain. En retenant l'année pluviométrique et non pas civile, les résultats sont sensiblement identiques. La distribution spatiale de la variabilité

ne change pas, seule l'intensité varie très faiblement; pour l'ensemble des stations analysées l'écart maximum obtenu, entre les coefficients de variation correspondants à l'année civile et aux différentes années pluviométriques, demeure toujours inférieur à 0,05, valeur infime dont on ne peut tirer aucune règle.

4-2-2 LES VARIATIONS SAISONNIERES :

INTENSITES ET FREQUENCES

Pour mesurer l'intensité des variations mensuelles et saisonnières, les écarts-types et les coefficients de variation sont nécessaires, car ils permettent d'apprécier exactement les variations du régime (Tab. 4.1). Toutes les conclusions empiriques fondées sur le classement des combinaisons saisonnières ne présentent aucune valeur scientifique; dans la plupart des régions méridionales, décembre est un mois très humide, mais janvier et février sont peu arrosés, et le classement des hivers pluvieux selon les formules anciennes dépend donc surtout des irrégularités de décembre. En réalité, ce mois appartient à la saison pluvieuse de septembre à décembre. Le découpage trimestriel insuffisant pour l'étude des régimes moyens est une source d'erreur grave pour l'analyse de la variabilité.

Les précipitations méditerranéennes sont très capricieuses; aucun mois, dans aucune station, n'a un coefficient de variation inférieur à 10 %; en octobre, sur les côtes du Roussillon, les écarts plus amples, atteignent un record de 37,9 %. La régularité plus grande des lames mensuelles en Aquitaine est indéniable.

4-2-2-1 Les irrégularités en pays basque.

La variabilité relative des pluies est faible dans

TAB 4.1 - LES HAUTEURS MENSUELLES MOYENNES ET
LEUR VARIABILITE

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Biarritz												
M	114	94	91	92	91	82	53	101	149	147	166	169
ET	13	11	12	11	9	8	6	19	21	19	18	21
CV	11	12	13	12	10	9	11	18	14	13	11	13
Pomps												
M	102	89	83	88	89	75	44	79	93	89	107	139
ET	11	12	12	9	7	8	5	11	13	11	11	16
CV	11	13	14	10	8	11	11	14	13	13	10	12
Tarbes												
M	108	79	83	98	105	86	57	65	90	83	86	135
ET	12	11	12	11	12	9	6	8	9	11	9	19
CV	11	14	14	11	11	10	10	13	10	13	10	14
Arreau												
M	86	62	65	73	87	70	57	64	70	71	83	126
ET	11	10	9	8	10	8	7	8	6	11	9	17
CV	13	17	13	11	12	12	13	12	9	15	11	13
Mont-de-Marsan												
M	85	80	62	64	74	60	37	71	78	79	96	116
ET	10	11	9	7	8	6	5	11	10	14	11	15
CV	12	13	14	11	10	10	14	15	13	18	11	13
Ciboure												
M	134	112	102	100	105	94	86	116	166	181	165	176
ET	13	12	13	12	10	10	12	18	21	24	16	21
CV	10	11	12	12	10	11	14	15	12	13	10	12
Navarrenx												
M	107	80	84	96	90	85	44	79	99	101	115	164
ET	13	11	12	10	9	11	5	12	9	12	11	20
CV	14	15	11	11	10	13	12	15	10	12	10	12
Lourdes												
M	104	80	86	111	105	87	72	78	93	97	101	153
ET	13	10	14	13	13	10	8	9	9	11	8	20
CV	13	13	16	12	12	11	11	12	9	12	8	13

TAB 4.1 - LES HAUTEURS MENSUELLES MOYENNES ET
LEUR VARIABILITE (suite)

Lombez

M	59	51	52	59	73	63	40	46	58	41	58	84
ET	6	8	7	6	7	9	8	6	6	6	5	10
CV	11	15	14	10	10	14	20	13	10	16	8	12

Vic Fesenzac

M	69	64	58	64	79	62	37	63	64	53	68	95
ET	8	9	8	7	8	8	5	8	9	8	6	11
CV	11	14	14	11	10	12	14	13	15	15	8	12

Cazaux

M	88	74	59	52	54	51	36	59	85	94	109	123
ET	11	9	8	4	5	7	4	15	12	12	12	14
CV	13	12	14	7	9	14	11	14	18	13	11	11

Bordeaux

M	97	82	66	57	64	69	52	66	89	84	101	121
ET	12	10	9	6	6	9	7	9	13	14	12	14
CV	12	12	13	11	10	12	13	13	14	16	12	12

Naujac

M	95	87	67	61	67	54	47	71	92	106	130	146
ET	11	12	10	8	7	7	5	11	13	17	15	16
CV	12	14	15	13	11	13	11	15	14	16	12	11

Marmande

M	64	59	50	50	65	60	38	69	73	56	67	82
ET	10	8	7	7	6	8	5	11	10	10	8	11
CV	15	14	13	14	10	13	13	16	14	18	11	14

Bergerac

M	66	60	52	57	62	58	43	61	67	56	69	87
ET	8	7	7	6	6	9	7	10	9	10	9	11
CV	12	12	14	11	9	16	17	17	14	17	13	13

Agen

M	60	52	50	56	71	70	40	59	61	49	66	84
ET	8	6	7	6	6	9	5	7	8	7	6	10
CV	13	11	13	11	9	12	12	13	13	14	9	12

TAB 4.1 - LES HAUTEURS MENSUELLES MOYENNES ET
LEUR VARIABILITE (suite)

Caylus

M	82	68	67	70	88	80	60	68	85	68	84	100
ET	12	9	9	9	9	11	8	10	12	12	10	13
CV	15	13	13	12	10	13	13	14	14	17	12	12

Fumel

M	71	63	55	53	80	65	40	58	73	47	79	98
ET	10	7	7	7	9	11	5	8	11	7	9	13
CV	14	12	14	12	12	17	13	13	15	16	11	14

Houeillés

M	77	66	62	58	75	67	43	64	80	58	79	98
ET	10	8	8	8	6	8	7	11	12	10	10	12
CV	12	12	13	14	8	11	16	17	16	17	12	13

Captieux

M	83	73	60	66	71	75	48	65	73	76	94	110
ET	10	9	9	10	5	9	6	9	10	15	12	14
CV	12	12	14	14	7	12	13	14	13	20	13	13

Lasseube

M	124	93	94	113	115	101	60	80	102	95	110	166
ET	14	13	15	12	12	15	9	11	11	12	10	19
CV	12	14	16	11	11	14	14	14	11	13	9	11

Castelsarrazin

M	59	50	47	54	70	63	45	56	68	48	62	73
ET	9	7	8	7	7	7	8	7	13	7	7	11
CV	14	14	16	10	12	7	17	12	19	16	11	15

Toulouse

M	51	50	52	55	64	62	44	43	59	45	57	69
ET	7	5	7	6	6	10	7	6	5	7	5	9
CV	14	11	14	12	10	16	17	13	9	15	8	12

Carcassonne

M	60	65	60	68	62	51	38	39	60	70	70	95
ET	6	8	9	9	7	8	5	4	10	16	13	12
CV	9	12	16	13	11	15	14	10	17	23	18	12

TAB 4.1 - LES HAUTEURS MENSUELLES MOYENNES ET
LEUR VARIABILITE (suite)

Cap Béar

M	31	42	49	44	35	26	17	37	58	128	70	54
ET	10	10	10	13	7	4	4	7	12	34	18	12
CV	33	24	21	30	19	15	24	18	21	26	26	23

Perpignan

M	28	52	57	48	46	33	27	28	70	94	70	73
ET	7	17	12	14	8	8	5	4	22	36	17	17
CV	24	32	20	29	18	24	19	13	32	38	24	23

Quillan

M	63	58	65	76	60	51	42	41	65	74	84	117
ET	9	8	11	11	7	6	6	6	11	11	15	15
CV	14	14	17	14	12	13	15	14	18	15	18	13

Montpellier

M	56	56	68	46	46	42	20	51	78	122	69	72
ET	15	13	12	9	10	11	4	8	14	22	9	12
CV	27	23	18	19	22	25	21	16	17	18	13	16

Nîmes

M	47	60	60	47	54	40	28	47	90	94	79	57
ET	10	9	12	7	8	8	5	8	15	13	10	8
CV	22	15	20	14	16	19	17	18	17	14	12	15

Orange

M	37	60	63	47	71	57	24	70	99	90	81	61
ET	8	10	11	7	10	10	4	12	16	14	19	8
CV	22	17	17	15	14	17	16	17	16	15	23	14

Avignon

M	30	50	48	43	52	53	21	45	97	79	71	58
ET	5	8	8	7	8	7	5	8	14	11	11	11
CV	16	17	16	16	15	13	22	18	15	14	15	18

Marignane

M	35	47	40	35	37	30	13	29	65	65	68	60
ET	5	8	8	6	6	5	4	5	11	11	10	10
CV	15	17	19	19	17	17	28	18	16	17	15	15

TAB 4.1 - LES HAUTEURS MENSUELLES MOYENNES ET
LEUR VARIABILITE (suite)

Salon												
M	34	53	44	41	34	39	18	43	77	66	63	57
ET	6	8	9	7	7	7	4	10	10	11	9	9
CV	17	16	21	18	20	18	25	24	13	17	13	16
Toulon												
M	57	71	63	52	37	28	9	26	62	84	86	88
ET	12	10	12	12	7	6	2	5	8	10	14	11
CV	21	14	19	22	19	21	27	21	13	12	16	12
Le Luc												
M	67	80	75	66	48	54	17	34	116	104	146	105
ET	11	10	16	9	9	8	4	7	23	18	17	18
CV	16	13	21	14	18	16	26	20	20	17	12	17
Cap Camarat												
M	63	82	68	47	33	21	13	25	73	91	114	86
ET	10	10	13	8	7	5	5	6	14	15	14	11
CV	16	12	18	17	22	22	39	25	19	16	12	13
La Colle s/ Loup												
M	64	101	88	82	55	51	24	45	92	121	179	112
ET	12	16	16	12	11	8	6	9	15	20	23	18
CV	18	16	18	14	19	16	23	21	16	17	13	16
Nice												
M	58	87	72	75	39	37	24	40	84	110	157	92
ET	11	15	11	11	8	6	6	9	15	18	20	16
CV	19	17	16	14	20	16	27	23	18	16	13	18

Légende :

M Moyenne en millimètres
ET Ecart-type en millimètres
CV Coefficient de variation en pourcentage

cette province océanique, même si en valeur absolue les accidents sont intenses comme l'attestent les écarts-types, 21 mm pour décembre à Biarritz. Les coefficients de variation ont des liens étroits avec le régime pluviométrique semble-t-il; les variations mensuelles, faibles pendant les saisons pluvieuses, sont plus importantes au cours des mois secs, même si les écarts absolus sont moindres. Cette règle n'est cependant pas parfaite. Sur le littoral, la dispersion des totaux mensuels est maximum en août et non pas en juillet, coeur de la saison sèche. Pendant les saisons humides, la variabilité relative est moindre, bien que décembre occupe un rang fort honorable. La stabilité du second maximum de mai-juin, remarquable, contredit les observations faites avec les seules moyennes et médianes.

Dans les stations intramontagnardes, quelques nuances sensibles apparaissent, un premier maximum de dispersion en février, puis un second en octobre. En août, le caractère orageux est permanent, la variabilité étant très faible.

4-2-2-2 La dispersion saisonnière dans les Midis "humides".

Dans les Midis méditerranéens humides, la variabilité mensuelle est forte. Pendant les saisons sèches la dispersion, faible en valeur absolue (écarts-types $< 5\text{mm}$), est relativement forte. En Languedoc, les irrégularités du minimum d'hiver sont plus accusées que celles d'été, janvier devance juin. Dans les stations du comté de Nice, la dispersion est maximum en été, notamment en juillet. Le schéma d'automne est identique, avec les totaux relativement les plus réguliers en novembre, même en Languedoc où octobre est le mois le plus arrosé. Les pluies de printemps sont moins dispersées en Provence orientale que sur les plateaux nîmois.

Les accidents pluviométriques, moins nombreux, sont moins redoutables sur les rivages atlantiques; les coefficients de variation mensuels dépassent rarement 15 %. Deux saisons ont une forte variabilité, la fin de l'hiver avec un premier maximum peu accusé, sauf dans les stations intérieures; le second, plus prononcé et plus complexe varie dans le temps suivant la latitude; au nord, sur la côte landaise, de juillet à octobre, des accidents pluviométriques sont à craindre; août et octobre sont particulièrement défavorisées, et tout projet d'installation balnéaire mérite une étude approfondie. Avril et mai, parfois même juin, sont peu troublés avec des coefficients de variation inférieurs à 10 %. Novembre et décembre reçoivent d'importants abats d'eau chaque année; les premières semaines d'hiver sont toujours maussades et grises sur la forêt landaise.

En Quercy et Périgord, les mêmes caractères persistent mais des différences entre mois successifs s'affirment. La valeur des coefficients de variation est supérieure à celle des stations littorales, caractère inversé par rapport à l'année entière. En outre, la dispersion s'accroît du nord au sud.

4-2-2-3 La variabilité dans les Midis secs.

En toulousain, l'irrégularité mensuelle des pluies est plus forte que dans les régions voisines, fait qui semble contredire les conclusions pour l'année. Au coeur de l'été, particulièrement en juillet, les précipitations sont très capricieuses, irrégularité relative maximum qui correspond au plus faible total mensuel, et déborde sur les mois voisins. Octobre est un second mois où le module mensuel moyen est peu significatif, fait déjà observé en Aquitaine océanique humide, où il n'est pas sec comme dans les campagnes toulousaines.

Le troisième maximum en fin d'hiver, plus variable suivant les stations, n'a pas l'ampleur des deux précédents.

Les minima au nombre de trois, témoignent d'une grande régularité des apports pluviométriques. Les coefficients de variation sont les plus faibles en mai, septembre et novembre, trois mois très arrosés. La régularité des pluies en Aquitaine centrale est forte pendant les saisons intermédiaires, paradoxe difficile à expliquer, même si en valeur absolue de grands écarts sont notés.

La dispersion en Roussillon et bas-Rhône présente des traits semblables, notamment l'indépendance entre la variabilité et les hauteurs mensuelles. Au début de l'été, en juin sur le littoral du Roussillon, et en juillet sur la côte du delta rhodanien, les accidents pluviométriques ne sont pas rares, mais en août la sécheresse est constante. L'irrégularité relative des pluies s'estompe dans les plaines intérieures, mais les totaux mensuels s'accroissent sensiblement. Le décalage entre les valeurs de Carcassonne et de Perpignan particulièrement net, apparaît aussi entre Avignon et Mari-gnane.

Ces caractères communs soulignés, des différences s'observent. L'intensité des irrégularités, maximale en Roussillon, est très supérieure à celle des plaines rhodaniennes. Plus intéressantes sont les nuances mensuelles; au Cap Bear et Perpignan, la variabilité estimée est faible par rapport à celle de janvier-février et d'octobre; ce maximum d'automne rappelle celui du toulousain. Dans le delta du Rhône, le schéma est plus "méditerranéen" avec une dispersion maxima en juillet, qui s'estompe au cours des mois suivants, si bien que la régularité des fortes pluies d'automne est très nette, en particulier sur le littoral.

Conclusion

A l'échelle régionale, des lois unissent les variabilités absolues, relatives et les totaux annuels. La variabilité absolue directement proportionnelle aux hauteurs mesurées, ne souffre aucune exception, bien qu'elle soit moins nette dans les pays "continentaux". La variabilité relative indirectement proportionnelle aux totaux recueillis, n'est plus toujours vérifiée, notamment en Méditerranée.

A l'échelle mensuelle, ces règles disparaissent, même si les mêmes tendances persistent parfois avec des décalages; ainsi, la variabilité relative est plus forte en août, qu'en juillet mois plus sec.

Dans les provinces méditerranéennes, on a exagéré les accidents annuels; non seulement les écarts absolus sont peu importants, mais même la variabilité relative est faible, sauf en Roussillon. Cette observation n'est valable qu'à l'échelle de l'année; il y a une "opposition" entre la régularité annuelle et l'existence de paroxysmes mensuels variés, nombreux, et intenses. En Méditerranée, des compensations mensuelles se neutralisent à l'échelle de l'année. Existe-t-il des lois précises de compensation ? Ce thème essentiellement pratique, n'est pas étudié dans cette thèse.

Dans deux études sur les pluies d'été en Provence orientale (11), les relations directes et inverses ont pu être vérifiées à une échelle plus fine. Pour le Var, où une limite pluviométrique s'incurve dans les bassins intérieurs apparaissent non pas une, mais deux relations; les lois de variabilité, peu nettes à l'échelle des domaines pour les mois, apparaissent clairement sur

(11) P. Dupyet, Les pluies d'été dans le Var (100).
H. Bernardi, Les pluies d'été dans les Alpes-Maritimes (87).

des espaces plus restreints.

4-2-3 LES ANNEES EXCEPTIONNELLES

4-2-3-1 Les années pluvieuses (Fig 4.7 A)

De 1851 à 1970 sur trente sept années pluvieuses dénombrées, deux seulement affectèrent l'ensemble des espaces méridionaux; vingt quatre relevés correspondent aux types IV, résultats bruts qui démontrent que les variations interannuelles de la pluviosité s'insèrent dans un cadre spatial restreint.

4-2-3-1-1 Les excédents sur l'ensemble méridional 1951 et 1959 (type I).

En 1951 et 1959, les lames d'eau recueillies dans toutes les stations méridionales sont supérieures à la moyenne, sans atteindre des records, car à Bordeaux et Nice les modules de 1960 dépassent ceux de 1959. Une forte pluviométrie sur l'ensemble des Midis ne signifie donc pas obligatoirement des années à paroxysmes violents.

Ces deux années correspondent à deux types différents; en 1959, les excès se produisent pendant les saisons normalement pluvieuses (Ib). La fin du printemps et les premières semaines estivales, particulièrement maussades, gênèrent la fructification des cultures fruitières. En automne et au début de l'hiver, des abats d'eau considérables provoquèrent des catastrophes, notamment la rupture du barrage de Malpasset et l'inondation de la plaine de Fréjus. Deux légères exceptions à ce schéma; sur les terreforts toulousains, octobre mois sec, bénéficie comme l'ensemble des Midis d'une forte pluviosité. Le renversement des extrêmes en Roussillon,

où juillet et août reçoivent plus de 150 mm, a pour origine des orages locaux, dont les plus violents troublèrent les cérémonies du 14 juillet; mais en octobre, les stations côtières catalanes ont recueilli plus de 500 mm.

En 1951 (type Id), les lames d'eau annuelles remarquables ont pour origine les fortes précipitations d'octobre et surtout de novembre, paroxysme de saison normalement humide; mais janvier et février, mois relativement secs, sont aussi très arrosés, notamment en Aquitaine occidentale, où se succèdent rapidement des courants perturbés d'ouest qui déversent des lames d'eau exceptionnelles sur la côte (300 mm à Bordeaux). Dans les postes "continentaux", cet excès de saison sèche est moins vigoureux.

4-2-3-1-2 Une année pluvieuse en Aquitaine :
1927 (type II).

1927 est la seule année où les totaux sont supérieurs au quatrième quintile dans l'ensemble des postes aquitains, faiblesse statistique expliquée partiellement par la brièveté de la série toulousaine; d'autres causes interviennent, et souvent la côte aquitaine et les plateaux intérieurs présentent des anomalies pluviométriques inverses.

En 1927 (type IIc), les hauteurs enregistrées sont médiocres, notamment à Toulouse où le pluviomètre a recueilli seulement 812 mm. Le caractère "excessif" de cette année témoin a pour cause de violentes précipitations en mars et juillet qui bouleversent l'agencement naturel des saisons. Ces deux mois secs occupent les deux premiers rangs à Bordeaux; un début de printemps maussade, et surtout un été pourri caractérisent cette année humide.

4-2-3-1-3 Excès pluviométriques en Méditerranée 1898 et 1920 (type III).

Les deux années 1898 et 1920 sont les seuls exemples d'exès pluviométriques généralisés aux rivages méditerranéens. Ce nombre modeste n'est pas uniquement dû à la brièveté de la série statistique de Nice. La pluralité des mécanismes locaux provoque des paroxysmes pluviométriques brefs mais intenses, dont l'importance fondamentale sera démontrée.

Les deux exemples appartiennent au même type (III b). En automne, les contrastes thermiques terre-mer favorables, et le retrait de l'anticyclone des Açores laissant le passage libre aux perturbations régénérées en Méditerranée, donnent les déluges qui gonflent les modules annuels. En 1920, le maximum printanier très prononcé, particulièrement en mars, contribue aussi à l'accroissement des totaux annuels. En 1898, la répartition des excédents varie d'est en ouest, Nice station orientale, recueille 1 011 mm pour seulement 850 mm à Montpellier. Le fait majeur reste cependant le renforcement des pluies de saison humide, à l'opposé du paroxysme aquitain.

4-2-3-1-4 Années pluvieuses dans une seule province (type IV).

Ce quatrième type d'années pluvieuses constitue un sous-ensemble très vaste (IV) et très varié, même en ne retenant que six provinces pluviométriques. Il ne peut être question de traiter en détail tous les exemples, et seuls quelques types d'Aquitaine occidentale et de Provence orientale, 18 relevés au total, sont décrits.

En Provence orientale, huit années ont des totaux supérieurs au quatrième quintile; tous les types sont représentés, sauf celui où les excès se répartissent

sur tous les mois de l'année. En 1916 et 1957 (type IV b), le gonflement des pluies en saison humide provoqua des dégâts considérables, et Nice enregistra son maximum (1 377 mm). Le type IV d, est le plus courant, trois fois sur huit; après un été pourri, notamment en 1896, de violentes averses s'abattent encore en automne. Les fortes précipitations persistent donc pendant six mois et perturbent le schéma méditerranéen classique. En 1936, la répartition des pluies est aussi indépendante du régime normal, mais elles tombent pendant le premier semestre de l'année. Les accidents pluviométriques sont aussi la cause d'années humides (IV e); en 1968, 228 mm sont recueillis en février, mois généralement peu arrosé à Nice. Cet accident est cependant modeste, et la hauteur annuelle n'atteint pas le mètre. En 1926, 491 mm tombés en novembre sur la côte d'Azur, donnent plus du tiers de la lame annuelle; ce paroxysme provoqua des glissements et éboulements de terrains dévastateurs dans les montagnes du pays niçois.

L'année 1940 représente un exemple célèbre en Roussillon, étudié par M. Pardé (12). En octobre, les contreforts pyrénéens du Canigou ont reçu plus d'un mètre en quatre jours. Même si l'auteur ne peut "certifier que des chutes supérieures à 1 000 mm en vingt quatre heures dans cette région" ces abats de type tropical accentuent la forte pluviosité d'automne. Les inondations qui suivirent furent meurtrières, près de cinquante personnes en France, et plus en Espagne; quant à la gare d'Amélie, elle fut rasée.

En Aquitaine occidentale, sur dix années pluvieuses, cinq appartiennent au même type (type b). La longue saison des pluies hivernales très prononcée est à

(12) M. Pardé, La formidable crue d'octobre 1940 dans les Pyrénées orientales (115 bis).

l'origine de l'accroissement annuel. Ces années pluvieuses forment deux groupes distincts, trois recensées avant 1860 et deux après 1960. Dans les premières l'allongement de la saison des pluies est dominant; caractère aussi net en 1961, mais quatre ans plus tard, ce sont les forts totaux de novembre et décembre qui gonflent la hauteur annuelle. Un second groupe d'années humides ont une distribution des précipitations indépendantes du régime classique (IV d). En réalité, elles doivent être rattachées au type précédent; d'octobre à décembre, les courants perturbés déversent de gros abats d'eau. Le premier bimestre janvier-février normalement sec, est très arrosé. Cette anomalie classe ces années 1915 ou 1966 dans le type IV d, mais en fait ce bimestre janvier-février correspond à un déplacement du maximum d'hiver de l'année antérieure au paroxysme, et l'excès pluviométrique doit être rattaché au type IV b.

Trois cas correspondent au type IV c : après un printemps maussade, succède un été pourri. En 1866, 305 mm sont recueillis de juin à la fin août, et en 1958 les déceptions furent vives parmi les touristes qui s'installèrent sur la côte basque. Malgré ces intempéries, en Aquitaine occidentale les années pluvieuses correspondent essentiellement à une augmentation des pluies de saison froide. En Provence orientale, cette simplicité s'efface, et les contrastes sont plus saisissants car les années humides ne se ressemblent pas.

4-2-3-1-5 La simultanéité d'années pluvieuses dans différentes provinces (type V).

Ce groupe d'années humides forme un vaste sous-ensemble aux ramifications multiples. Outre le problème, commun avec les autres types de la répartition saisonnière des précipitations, on peut distinguer des types

en fonction du nombre de provinces présentant un maximum la même année, même si aucune règle n'est rigoureuse.

En 1931, des pluies supérieures à la normale sont enregistrées dans toutes les provinces sauf en Provence orientale et dans le comté de Nice. Cette année s'apparente donc au type I, plus précisément au type Ic, car les fortes pluies tombent à la fin de l'hiver et surtout au coeur de l'été, 217 mm en juillet-août à Marseille. Les autres combinaisons plus simples, regroupent deux provinces, une méditerranéenne et une aquitaine. Souvent Roussillon et toulousain sont très arrosés la même année, et il en est de même pour la côte landaise et les plaines du bas-Rhône, mais on ne peut pas démontrer la régularité de ces liens.

L'examen des types en fonction de la répartition temporelle des excès montre une très grande diversité. En 1886, des apports supérieurs à la normale ont lieu tous les mois en Aquitaine occidentale (V a). En 1935 et 1960, des précipitations importantes sont enregistrées de janvier à mars et de septembre à décembre, répartition indépendante du régime.

4-2-3-2 Les années sèches (Fig 4.7 B).

Les années sèches, plus nombreuses que les années excédentaires, quarante sept, sont aussi très diversifiées. Si les excès pluviométriques apparaissent souvent dans une ou quelques provinces, les années sèches obéissent aussi à cette règle car trente sept anomalies appartiennent aux types IV et V, même si cinq années sont observées sur l'ensemble des Midis.

4-2-3-2-1 Un déficit généralisé (type I).

En 1921, l'intensité de la sécheresse, maximum,

est catastrophique pour les cultures non irriguées; aucun mois ne reçoit des hauteurs d'eau suffisantes pour constituer de précieuses réserves. La sécheresse intense s'éternise toute l'année (type I a). En 1894, le déroulement des saisons est dérégulé; la sécheresse a pour origine un automne et un premier mois d'hiver radieux, qui prolonge un été normalement sec, en particulier sur le littoral méditerranéen. Cette année de sécheresse est la seule qui corresponde au type I b. En 1884 et 1945, la répartition est indépendante du régime (I d). Sur le littoral méditerranéen, rares sont les ondées pendant les neuf premiers mois de l'année 1945, caractère moins accentué en Aquitaine. En 1884, l'automne et l'hiver sont peu arrosés, mais d'autres mois ne totalisent que des hauteurs négligeables, en particulier mars et juillet. Le déficit est donc irrégulièrement réparti au cours de l'année. Dernier exemple de sécheresse généralisée, 1967, est sans doute le plus complexe. Des pluies normalement faibles sont comptabilisées dans toutes les régions, mais la distribution n'est pas uniforme. A l'est du Rhône, printemps et automne, les deux saisons humides, sont fort dépourvues (I d) tandis qu'à l'ouest et dans la plaine du bas-Rhône, le déficit est commun à tous les mois (I a); sur le littoral atlantique, la sécheresse de fin d'hiver et d'été prend de l'ampleur (I c); quant au schéma de l'Aquitaine intérieure il est du type I d.

4-2-3-2-2 Les années déficitaires dans le bassin aquitain (type II).

Observer un déficit commun à toutes les provinces de l'Aquitaine, est aussi rare que découvrir un excédent; en 120 ans, seuls deux cas répondent à ce critère spatial. En 1942, un été très ensoleillé et très sec,

se poursuit en automne, et le déficit s'étale sur une saison sèche et une saison humide, troublant ainsi le régime classique (type II d). En 1948, la distribution temporelle des pluies est différente; en automne et au début de l'hiver, la rareté des précipitations est remarquable (II b), perte très prononcée malgré un mois de septembre "normal".

4-2-3-2-3 La sécheresse sur les rivages méditerranéens (type III).

Les années, où tous les terroirs méditerranéens souffrent d'un manque d'eau sont rares, car de nombreux accidents privilégient certaines provinces. De 1883 à 1970, deux exemples seulement correspondent à ce type. En 1908, tous les mois, sauf ceux de l'été recueillent des précipitations inférieures à la normale; à Marseille, le trimestre juin-août constitue même une saison relativement humide avec 113 mm. Malgré de copieuses averses en octobre, les tendances estivales s'éternisent en automne (type III b).

4-2-3-2-4 La sécheresse à l'échelle provinciale (type IV).

En Provence occidentale, Roussillon, et Languedoc sont dénombrés le plus d'accidents pluviométriques à l'échelle d'une province; ils illustrent les forts coefficients de variation; les sécheresses intenses sont fréquentes. Comme pour les années très humides, il est impossible de décrire tous les exemples, et seuls les accidents survenus dans les pays toulousains et le bas-Rhône sont analysés en détail.

Dans les campagnes toulousaines, 1946 et 1964, les deux seuls exemples, correspondent tous deux au type IVd quand la sécheresse est indépendante du régime. En

1946, le premier trimestre, relativement sec, et le bimestre normalement humide d'août-septembre sont les deux périodes déficitaires. En 1964, la dispersion est plus grande, janvier, juillet et novembre-décembre ont des modules très inférieurs à la normale.

Sur les basses terres rhodaniennes, les douze cas relevés appartiennent à tous les types. 1877 est le seul exemple de sécheresse répartie sur toute l'année (IVa), bien qu'en avril quelques ondées humidifient la plaine caillouteuse de la Crau. Pendant ces douze mois, Marseille reçoit seulement 312 mm. Les cinq exemples de pénurie annuelle, ayant pour origine l'absence de précipitations pendant une saison humide (IVb) se répartissent sans ordre de 1851 à 1970. Généralement l'automne pluvieux est escamoté, l'été se prolongeant; en 1876, 21 mm sont mesurés en septembre-octobre, contre 40 mm en juillet-août. Parfois la carence des pluies est moins complète; en 1889, octobre reçoit 133 mm, mais l'automne dans son ensemble reste sec. Une seule année sèche, 1955, a pour origine la médiocrité des précipitations de printemps, autre saison humide. Trois années correspondent au type IVc. La carence estivale est plus prononcée que la normale et septembre devient un appendice de l'été, mais le plus souvent, l'ampleur du déficit dépend de la saison sèche d'hiver. En 1878, le pluviomètre ne recueille certes que 5 mm en juillet-août, mais en janvier-février 3 mm seulement étaient tombés. Les contrastes saisonniers méditerranéens prennent alors tout leur relief. Les deux années appartenant au type IVd ne présentent aucun trait particulier.

4-2-3-2-5 La sécheresse sur plusieurs provinces (type V).

De 1851 à 1970, treize années déficitaires correspondent au type V. Comme pour les années humides, les

liens entre bordelais et bas-Rhône semblent étroits, 8 cas sur 13, mais la longueur des séries en est peut-être la cause; cependant après 1870, les données de Montpellier ne troublent pas les résultats; en 1875 par exemple, la sécheresse règne sur le littoral landais et le delta rhodanien, mais Montpellier enregistre plus d'un mètre d'eau. En 1904 et 1935, la déficience pluviométrique est la plus vaste; seul le toulousain en 1904 et le bas-Rhône en 1935, échappent à la sécheresse, grâce aux apports déversés par de violents orages locaux. Tous les types sont représentés, mais aucune règle précise ne peut être formulée quant à l'existence de liens entre la répartition spatiale de la sécheresse, et sa variabilité.

Conclusion

Cette brève analyse des variations interannuelles permet d'énoncer quelques conclusions :

- Les accidents pluviométriques sont très nombreux dans les Midis. Avec les séries disponibles, incomplètes, quatre vingt onze cas ont été enregistrés. Les plus longues séries ne dépassant pas cent vingt ans, trois années sur quatre un accident pluviométrique affecte au moins une province méridionale. Certains auteurs considèrent comme très sèches les années définies comme déficitaires, et ajoutent que sont sèches les années dont le module annuel est compris entre le premier et le second quintile. En tenant le même raisonnement pour les années humides, aucune année ne se passe sans qu'un excédent ou une pénurie ne soit observé dans au moins une province.

Ces excès positifs et négatifs sont très rares à l'échelle des deux Midis; la sécheresse ne s'étend que cinq fois sur l'ensemble méridional, et les deux années

humides constituent un événement séculaire.

Le caractère provincial de la majorité des excès est indéniable, huit cas mixtes confirment ce fait; ils correspondent à des années humides sur une région, et sèches sur d'autres espaces méridionaux; le plus souvent le bordelais est noyé sous les pluies, et les plaines rhodaniennes souffrent de la sécheresse, à moins que ce ne soit l'inverse comme en 1862 et 1863; en 1907, des excédents sont enregistrés à Marseille, et la même année, le comté de Nice recueille un total très inférieur à la normale.

Cette variabilité n'est pas un caractère spécifiquement méditerranéen bien que l'intensité des irrégularités y soit plus prononcée; les paroxysmes moins intenses en Aquitaine, sont cependant très nombreux, notamment sur tout le littoral. La Provence orientale n'est pas plus intensément troublée que l'ensemble aquitain.

La répartition des années sèches et humides en fonction de leur origine oppose les deux Midis; les types c, année humide d'origine accidentelle sont caractéristiques des régions méditerranéennes, où les excès d'automne ne sont pas rares. En Aquitaine centrale, le type d représente 80 % des cas, suprématie due à la complexité du régime pluviométrique toulousain, et aux faibles écarts mensuels. Cette région exceptée, sur les autres espaces méridionaux la plupart des accidents, du type b, ont pour cause les fluctuations des totaux recueillis pendant les mois "normalement" humides.

4-3 LA VARIABILITE DYNAMIQUE

4-3-1 1851-1900 : UN LENT DECLIN DE LA PLUVIOSITE

L'évolution des moyennes décennales et chevauchantes démontrent l'existence de deux grandes phases,

avant et après 1900. Pour apprécier l'évolution de la pluviosité de 1851 à 1900, les données sont fragmentaires, sauf pour les deux dernières décades. Malgré ces lacunes, les courbes de Marseille et Bordeaux attestent un léger déclin de la pluviosité (Fig 4.3).

Cette "tendance" à la sécheresse est très modérée; à Marseille, les moyennes de première et dernière décades sont respectivement 607 et 546 mm, et à Bordeaux l'écart est inférieur à 100 mm. Les courbes de moyennes chevauchantes confirment l'intensité médiocre des changements au cours de ce demi-siècle, bien que la plupart des points soient situés au-dessous de la droite représentant la moyenne établie sur 120 ans.

L'évolution générale est plus régulière sur le littoral méditerranéen qu'en Aquitaine; à Marseille, la pente est constante et le point le plus bas est atteint en fin de période; à Bordeaux, un regain des précipitations de 1881 à 1890 a pour origine deux lames d'eau annuelles supérieures au mètre. Ce renforcement passager apparaît bien sur la courbe des moyennes mobiles. Malgré cette légère disharmonie, de 1851 à 1900, les schémas d'évolution de la pluviosité dans les Midis sont semblables, la "sécheresse" s'amplifie lentement au fil des ans.

Les variations saisonnières sont plus complexes. A Marseille, six mois présentent des courbes très irrégulières; les mois printaniers de mars à mai sont particulièrement capricieux; le déficit s'affirme pendant la saison froide; si en octobre et décembre aucune tendance n'est décelable, en septembre et novembre, la dégradation est régulière. Les deux saisons sèches, janvier-février, et mai-août ont une évolution différente; en hiver, les hauteurs mensuelles sont inférieures à la moyenne, et janvier-février prolongent le déclin commencé en automne. En été, aucune variation n'est nette en

juin et août, mais les précipitations de juillet augmentent régulièrement. Un automne et hiver moins arrosés, un été plus humide forment donc un régime méditerranéen atténué pendant cette phase de sécheresse.

En Aquitaine, les saisons extrêmes d'hiver (décembre à mars) et d'été (juin-août) ne subissent pas d'accidents de grande ampleur; les modules mensuels décroissent lentement en janvier, en août, et stagnent pendant les autres mois. Au coeur de l'été, en juillet, la variabilité est minimum, moins de 5 mm entre les deux moyennes décennales extrêmes; les erreurs de mesure et de calculs sont plus importantes que l'ampleur des sinuosités de la courbe. Printemps et automne sont deux saisons intermédiaires, où la régularité des précipitations est faible. Comme en Méditerranée, les caprices du printemps sont remarquables bien que plus tardifs (avril et mai). Septembre et octobre ne sont pas moins troublés; le maximum décennal 1881-1890 est particulièrement prononcé pendant ces mois instables, notamment en avril et mai.

Le régime ne subit pas de grandes modifications, la saison des pluies s'éternise "normalement" de septembre à janvier, mais les maxima d'octobre et novembre expliquent la supériorité de l'automne quand est conservé le cadre trimestriel traditionnel. Malgré ce décalage, la saison humide, dans son ensemble, est moins arrosée, caractère identique à celui observé dans les régions méditerranéennes. L'été ne reçoit pas d'abondantes précipitations, et la sécheresse de juillet se poursuit en août, évolution différente à celle décrite pour les rivages méditerranéens.

4-3-2 LES FLUCTUATIONS DU VINGTIEME SIECLE

(Fig 4.4).

Après 1900, les moyennes décennales sont moins

régulières, pointes et creux se succèdent sur les courbes. Les variations en Aquitaine et en Méditerranée demeurent concomitantes, comme le démontre le test du chi-deux. Ce test pour les paires suivantes : Bordeaux-Toulouse, Toulouse-Marseille, Marseille-Nice, et Bordeaux-Nice est positif. Ces résultats montrent que les variations séculaires sont identiques dans les deux Midis, et la remarque de Flohn : "beaucoup de modifications de climats sont de nature régionale" (13), n'est pas vérifiée; à l'échelle séculaire, les variations de la pluviosité ne s'inscrivent pas dans un cadre spatial aussi limité. Cette remarque appliquée aux variations séculaires, n'est pas valable pour les variations interrannuelles inscrites dans un espace plus restreint; l'étude des années pluvieuses et sèches a démontré au contraire que pour ces types de variations, le cadre spatial "régional" est parfaitement adapté. Les lois de variabilité des précipitations varient donc suivant les échelles temps et spatiales retenues.

4-3-2-1 Les phases humides.

La première période humide, de 1905 à 1915, très nette sur les rivages du comté de Nice, s'estompe plus à l'ouest; il est regrettable de ne pas disposer d'une série toulousaine de cette époque pour déterminer avec précision l'évolution en Aquitaine. Cependant à Bordeaux, la courbe des moyennes mobiles au-dessous de celle de Nice-Gioffredo indique une phase pluvieuse peu intense; à Nice est relevé le maximum pluviométrique, ce qui n'est plus vrai à Marseille, et encore moins à Bordeaux.

Cette première phase humide présente des variations régionales nuancées. En Provence orientale, la majorité des années reçoivent des abats copieux; à Nice, en douze ans, aucun total annuel n'est inférieur à 700 mm, et

(13) H. Flohn, Le temps et le climat (50).

cinq sont supérieurs à 900 mm. Plus à l'ouest, à Marseille, cette longue série est moins ordonnée, avec des années sèches comme 1914 (353 mm). En Aquitaine, au début de la période les années déficitaires sont nombreuses, puis les abats d'eau augmentent chaque année, évolution qui se poursuit au-delà de la décade 1905-1915; il y a donc, outre une pluviosité moindre, un léger décalage de la phase humide mal atténué par la technique des moyennes mobiles.

Les régimes pluviométriques subissent des modifications importantes. En Méditerranée, les contrastes saisonniers s'accroissent; les lames d'eau estivale n'augmentent pas; cette phase pluvieuse n'a pas pour origine la succession d'étés pourris, et même, certaines années, la sécheresse estivale s'intensifie. Les pluies fortes s'abattent en automne, notamment en septembre-octobre, continuent parfois pendant tout l'hiver, le printemps étant alors relativement sec. Mais généralement, les excès printaniers s'ajoutent à ceux de l'automne, et l'accroissement des totaux annuels est dû aux saisons humides. Ce schéma, très net sur la côte-d'Azur, s'estompe vers l'ouest; à Marseille, les excès moins intenses se répartissent essentiellement au début de l'automne, les autres saisons ne présentant aucune variation significative. Dans le bordelais, le régime moyen évolue peu; en novembre, décembre, et parfois janvier, les modules mensuels s'amplifient, mais septembre et octobre ne présentent aucune évolution spécifique. Parfois des pluies estivales s'ajoutent à ce maximum hivernal, notamment en août (142 mm), mais l'essentiel est le décalage des pluies fortes vers le coeur de l'hiver.

La seconde phase humide, plus longue, dure approximativement de 1925 à 1940. Plus intense en Aquitaine et à l'ouest du Rhône, elle s'efface vers le golfe de

Gênes; l'évolution spatiale est donc inverse à celle de la première période pluvieuse.

Dans toutes les stations, y compris Toulouse, les irrégularités interannuelles sont la règle; des années très pluvieuses rendent compte de l'accroissement, 864 mm en 1920 mais seulement 284 mm en 1921 à Marseille; un doublet de même type en 1919-1920 a lieu à Bordeaux. Cette phase humide n'est donc pas permanente.

L'analyse des régimes ne présente pas de profonds changements et notamment les régimes méditerranéens sont toujours plus accusés, même si les années très pluvieuses sont souvent dues à des accidents mensuels; à Bordeaux, sont enregistrés 300 mm en octobre et novembre 1940, et en 1930, au cours de ces mêmes mois, plus de 400 mm sont mesurés à Marseille.

La troisième phase pluvieuse, plus brève, semble-t-il, est centrée sur la décade 1950-1960. Elle est très intense en Aquitaine océanique et dans le comté de Nice; toutes les années sont très arrosées, et plus de cinq relevés sur dix dépassent le mètre, hauteur remarquable pour la côte-d'Azur, pays réputé sec. A l'ouest du Rhône et en Aquitaine intérieure, l'évolution persiste mais les hauteurs sont plus faibles.

Les anomalies de régime, déjà décrites, réapparaissent; les pluies d'automne, violentes sur les terroirs méditerranéens, succèdent à des étés très secs. La sécheresse de janvier-février est parfois remplacée par des précipitations copieuses comme en 1950 à Nice, mais le thème majeur reste l'accentuation des contrastes saisonniers. En Aquitaine océanique et intérieure, l'accroissement de la pluviosité a pour cause principale l'étalement de la longue saison humide d'hiver en janvier et parfois même en février.

4-3-2-2 Les phases sèches.

Deux phases de sécheresse séparent les trois périodes humides, de 1920 à 1930 et de 1940 à 1950. Dans les régions méditerranéennes, la seconde phase est moins sèche, tandis que l'évolution inverse caractérise l'Aquitaine. Les courbes illustrant les moyennes mobiles semblent démontrer que les phases sèches sont moins longues que les périodes humides, mais cette technique est imparfaite.

Ces deux séquences d'aridité sont différentes. La première englobe des années médiocrement arrosées et des années très sèches, avec un record en 1921, 519 mm à Bordeaux et moins de 300 mm dans les stations méditerranéennes. Au cours de la seconde période presque toutes les années sont déficitaires, mais aucune sécheresse de type séculaire ne sévit.

Les variations spatiales sont peu nettes; en Aquitaine, la sécheresse augmente dans les stations "intérieures", particulièrement au cours de la décade 1940-1950. Sur le littoral atlantique les écarts sont moindres. En Méditerranée, les variations moins nettes, nécessiteraient le dépouillement d'un plus grand nombre de stations.

Les régimes pluviométriques évoluent. En Aquitaine, la sécheresse printanière s'accroît et contribue au déclin; l'été débute en juin, mais août est souvent orageux. Le décalage de la saison des pluies persiste et décembre prend la première place. Sur les rivages méditerranéens, le régime moyen est aussi déformé. La sécheresse d'été ne s'intensifie pas, et en août s'amorce une évolution contraire; en automne, les pluies recueillies sont moindres, notamment en septembre; novembre ravit par ailleurs la première place à octobre. Le régime méditerranéen est donc moins contrasté pendant cette phase de sécheresse.

L'étude des écarts-types et coefficients de variation décennaux confirment ces remarques. La variabilité absolue et relative des hauteurs annuelles est maxima pendant les phases sèches en Méditerranée; d'autre part, les variabilités maxima des modules d'automne et d'hiver, s'opposent à la régularité des pluies d'été. En Aquitaine, au contraire, pendant la phase très pluvieuse de 1950-1960 les écarts-types et les coefficients de variation sont plus importants; les mois humides de septembre à février présentent des dispersions maxima, notamment sur la côte atlantique.

Conclusion

Cette brève analyse atteste la diversité du fait pluvieux pendant le dernier siècle. Après une évolution régulière de 1851 à 1900, se succèdent des phases sèches et humides. Les courbes de moyennes mobiles semblent même présenter des cycles, mais cette technique, nul statisticien ne l'ignore, peut ordonner une série. Les tests pratiqués contredisent toute organisation répétitive; les courbes contredisent les idées de nombreux auteurs reprises par P. Pedelaborde : "Cette aridification progressive représente on le sait, une des tendances de l'oscillation climatique contemporaine dans les régions subtropicales" (14). Cette évolution n'apparaît pas et la pluviosité augmente même par saccades, sans qu'on puisse vérifier une tendance réelle.

Dans les régions méditerranéennes, les régimes obéissent à des lois; les contrastes fondamentaux entre l'automne et l'été, ravivés pendant les périodes humides, s'atténuent au cours des phases sèches. Cette observation, déjà faite par E. Bénévent (15), doit être

(14) P. Pedelaborde, Chronique météorologique. (64).

(15) E. Bénévent, Le régime des pluies en basse Provence d'après deux périodes successives de trente ans (85).

considérée comme une loi. Par contre, le déplacement du maximum à la fin de l'automne, en novembre, est indépendant de la succession des périodes sèches ou humides.

En Aquitaine, les variations ont relativement moins d'ampleur. Comme pour les régimes méditerranéens, le déplacement du maximum pluviométrique vers décembre, est indépendant des hauteurs d'eau. Les liens fonctionnels entre totaux annuels et régimes saisonniers sont moins étroits, même si les périodes humides sont caractérisées par un allongement de la saison des pluies en janvier. Pendant les phases d'aridification, le maximum secondaire de printemps s'efface et un régime simple apparaît.

4-3-3 LA VARIABILITE INTERANNUELLE ET INTERMENSUELLE

La seconde étude dynamique de la variabilité a pour objet les mois et années dans leur succession chronologique. La variabilité interséquentielle est d'autant plus forte que les hauteurs annuelles sont élevées, car les écarts entre les valeurs successives peuvent être très grands; pour des hauteurs sensiblement égales, la variabilité dynamique est légèrement supérieure dans les postes méditerranéens.

A l'échelle mensuelle, la succession de 240 unités statistiques (20 ans) donne des résultats non significatifs; les valeurs obtenues entre 0,90 et 1,10 ont pour origine la longueur de la série, et les effets de compensation découverts dans l'étude structurelle jouent à nouveau.

Pour surmonter cette difficulté technique, la variabilité interséquentielle mensuelle a été définie chaque année de 1951 à 1970. Les vingt coefficients obtenus pour chaque station permettent de formuler quel-

ques lois après leur regroupement en cinq classes (Fig 4.8).

La variabilité dynamique est plus faible dans le sud-ouest où 90 % des coefficients sont inférieurs à 0,76. En Méditerranée, pour ces mêmes classes, les fréquences relatives calculées sur vingt coefficients n'atteignent pas 35 %, sauf au pied des Cèvennes. Inversement, aucun coefficient ne dépasse le seuil 1,25 en Aquitaine, mais il est franchi dans la majorité des postes méditerranéens.

Minimum sur le littoral océanique, la variabilité augmente dans les plaines intérieures où les trois quarts des coefficients sont compris entre 0,50 et 1,00. On n'observe plus de relation directe entre les variabilités interséquentielles et les hauteurs enregistrées. Sur les rivages méditerranéens, l'opposition entre régions orientales et régions occidentales n'est pas moins accusée. Les pluies considérées dans leur succession mensuelle sont très irrégulières à l'ouest du delta rhodanien, et cette dispersion s'accroît vers la frontière espagnole; à Perpignan, la variabilité maximum est atteinte en 1972, 1,62, et 25 % des coefficients sont supérieurs à 1,25. Elle est moindre à l'est du Rhône où rarement plus du quart des paramètres dépassent le seuil 1,00. Malgré le nombre restreint de stations, une concordance existe entre les distributions spatiales des deux types de variabilité, structurelle et dynamique.

Conclusion

Comme pour la variabilité structurelle, les relations entre hauteur et variabilité dynamique ne sont pas étroites à l'échelle de l'ensemble des Midis; elles s'inscrivent dans un cadre spatial plus limité, régional.

La répartition spatiale de cette variabilité atteste encore l'originalité de l'Aquitaine intérieure où la dispersion reste très faible, et l'augmentation d'est en ouest de l'irrégularité des pluies mensuelles sur les rivages méditerranéens.

C H A P I T R E C I N Q

LES PAROXYSMES PLUVIOMETRIQUES

Ce cinquième chapitre est consacré aux intensités-durées maxima et à leur variabilité. Les intensités maxima sont étudiées en fonction de différents seuils de durées, déterminés par les ingénieurs de la météorologie pour des études appliquées d'urbanisme et d'hydrologie. Imparfaits pour une étude purement théorique, ils permettent cependant une analyse fréquentielle comparative. Les techniciens de la météorologie confectioonnent des tableaux de "dépassement des seuils de précipitations". Le dépouillement peut faire éclater la réalité physique d'une averse, car seules les phases excessives sont retenues; à Nice, le 3 novembre 1968 il pleut sans discontinuité, mais on a recensé uniquement les six tranches avec plus de quatre millimètres recueillis en six minutes puis cinq tranches, recoupant les précédentes, où plus de six millimètres furent mesurés en quinze minutes...

La brièveté des séries, moins de 10 ans dans les stations méditerranéennes sauf à Montpellier, ne permet pas d'énoncer des conclusions définitives, d'autant plus que la densité spatiale est aussi très faible, même à l'échelle régionale. Ces insuffisances ne sont pas dramatiques pour une étude annuelle, comme le montre l'exemple de Montpellier. Les moyennes et les écarts-types de la série de dix sept ans sont égaux à ceux de la série de cinq ans (1966-1970). A l'échelle mensuelle cette brièveté devient plus gênante.

Les diagrammes de fréquence annuelle moyenne et les tableaux de répartition mensuelle illustrent le caractère moyen des intensités-durées maxima et montrent

que les paroxysmes eux-mêmes peuvent être l'objet d'une étude fréquentielle (Fig 5.1).

Les droites fréquence-intensité-durée représentent des valeurs classées des intensités en millimètres par heures, des précipitations les plus fortes en des temps donnés (6mm, 15mm... 6 heures) (Fig 5.3). Les droites ont été ajustées graphiquement, sans calculer les paramètres de la fonction

$$I \text{ mm} = \frac{a}{b + t}$$

car la brièveté des séries ne le permet pas. Cependant, les résultats sont interpolés en prolongeant ces droites jusqu'au temps de retour dix ans, car pour la plupart des problèmes pratiques l'averse décennale est retenue. Ces modèles théoriques sont donc en fait directement applicables.

Les courbes intensité-durée représentent les intensités maxima relevées en cinq ans pour chaque seuil (Fig 5.4). Le lissage des courbes des stations aquitaines a été facile, mais celui des courbes "méditerranéennes" n'était pas possible, traduisant bien l'imperfection due aux séries trop brèves.

Une autre technique permet d'étudier les paroxysmes pluviométriques. En effet, l'évaluation de l'intensité maximale d'un événement climatique qui peut être dépassée, en moyenne, pendant une certaine période n'est pas un problème neuf. Pour les pluies des auteurs ont proposé l'ajustement de Gumbel. On démontre en effet que les pluies en vingt quatre heures maximales obéissent à une distribution de la forme :

$$X_i = u \frac{1}{a} \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T(X_i)} \right) \right)$$

où $T(X_i)$ est l'intervalle de retour
a et u des paramètres définis.

Cette technique permet donc de formuler une loi mathématique probabiliste à partir de maxima annuels ou mensuels; elle présente quelques inconvénients (1). L'estimation de la probabilité est d'autant plus faible, que le nombre d'observations annuelles est grand; un minimum de cinquante est nécessaire. D'autre part, les $T(X_i)$ correspondants aux plus forts relevés varient fortement avec l'échantillonnage. En outre, la méthode de Gumbel sous-estime les hauteurs de pluies correspondant aux petits intervalles de recurrence : le début et la fin des droites obtenues sont donc peu précises. Enfin, comme dans la technique proposée par Ch. P. Peguy et J. Mounier, il s'agit de pluies relevées à heures fixes; pour une période de vingt quatre heures mobile encadrant la réalité physique d'un épisode pluvieux une correction s'impose et certains auteurs estiment la sous-estimation supérieure à 10-15 %.

5-1 INTENSITE DUREE MAXIMA - LES SCHEMAS MOYENS

5-1-1 LES PAROXYSMES ANNUELS

La figure 5.1 est une illustration graphique des fréquences annuelles moyennes de précipitations dépassant les seuils indiqués sur chaque rayon. Le douzième axe n'est pas utilisé en l'absence de données.

Sur les deux graphes s'individualisent trois types de courbes; les rivages arrosés du Languedoc et de la Provence orientale, et le pays basque ont les averses brutales les plus nombreuses, entre huit et douze pour chaque seuil. Les Midis méditerranéens secs, Roussillon et bas-Rhône, ne sont pas à l'abri de paroxysmes pluviométriques violents, plus de cinq chutes record par an.

(1) L. Weiss, Ratio on true to fixed interval maximum rainfall (29).

En Aquitaine, pays basque excepté, les pluies brutales sont rares. L'écart entre l'intérieur et le littoral apparaît remarquablement sur ces graphes circulaires. Le caractère orageux et dévastateur des pluies en toulousain est très fortement exagéré : les abats d'eau les plus intenses et les plus fréquents sont recueillis dans les pluviomètres côtiers.

La forme plus ou moins circulaire des courbes illustre des traits particuliers. Les fréquences moyennes des maxima ne correspondent pas aux mêmes seuils pour toutes les stations. En Aquitaine, les seuils de durée moyenne sont les plus représentés, sauf en toulousain; le décentrage différentiel des courbes de Toulouse et Saint-Girons est très caractéristique. Sur la côte méditerranéenne, les violentes précipitations de longue durée sont les moins représentées; les courbes se rapprochent du centre à partir du seuil 26 mm en vingt quatre heures. Pour les seuils de dépassement "moyens", 17 mm en six heures et 21 mm en douze heures, les chutes très nombreuses occupent parfois le premier rang comme à Montpellier et Nice. Les chutes très brèves et très brutales forment un second maximum; les courbes en Méditerranée ont ainsi une forme elliptique. Le Roussillon, original, a des fréquences élevées pour des durées intermédiaires de deux et trois heures. La médiocrité relative des précipitations courtes, mais dévastatrices, par rapport au bas-Rhône est particulièrement nette. Les fortes averses sont donc plus longues en Roussillon.

5-1-2 LES VARIATIONS SAISONNIERES

5-1-2-2 L'hiver

En hiver, les oppositions, grandes entre les mois, ne sont pas calquées sur celles des régimes moyens. Au

pied des Pyrénées, notamment à l'ouest, le mois de décembre prolonge novembre; à Saint-Girons, les averses violentes, toujours rares, sont plus fréquentes en décembre. Au nord de ces piémonts, dans les plateaux intérieurs ou sur la côte sableuse, en novembre et décembre, les pluies ne sont jamais très brutales. A Toulouse, aucune précipitation de forte intensité n'a été recueillie en décembre au cours des cinq dernières années.

Dans les stations méditerranéennes, l'opposition entre ces deux mois est plus ou moins nette. L'écart, très grand sur la côte-d'Azur, diminue d'ampleur vers l'ouest, sans toutefois disparaître complètement comme l'atteste le tableau de Perpignan; en décembre, s'estompent donc les mécanismes pluviométriques violents, générateurs de très fortes averses.

Janvier et février sont aussi très différents dans les deux domaines. En Aquitaine, la fréquence moyenne des pluies violentes est pratiquement nulle, sauf en janvier dans le bordelais; il y a donc bien concordance entre le déclin généralisé de la pluviométrie et l'absence de très violentes précipitations. En Méditerranée, janvier prolonge décembre, particulièrement à l'ouest du Rhône; A Perpignan, aucun excès n'a troublé janvier; à l'ouest du delta rhodanien, les accidents sont plus nombreux qu'en décembre et il y a donc une disharmonie entre le régime moyen et celui des paroxysmes; elle s'accroît en février et atteint l'ensemble des provinces méditerranéennes. Dans toutes les stations, pendant ce mois peu arrosé, des précipitations torrentielles sont recueillies en Provence.

En Aquitaine, les seuils les plus représentés sont tous de longue durée; pendant l'hiver, les pluies de forte intensité durent souvent plus de six heures, surtout au sud; à Biarritz, en novembre, treize paroxysmes

dépassant quatre jours ont été observés. Dans les régions méditerranéennes, sauf en Roussillon, les pluies de très brèves et très longues durées sont rares, sauf en novembre dans le comté de Nice; les pluies, dont la durée n'excède pas trois ou six heures, forment la majorité des accidents pluviométriques.

5-1-2-2 Les nuances du printemps.

Au printemps, la même opposition mars-avril caractérise l'ensemble des Midis; en mars, les excès très rares sont parfois même totalement absents, comme à Nîmes ou Bordeaux. Cette opposition entre les deux mois printaniers, maximum en Languedoc-Roussillon, diminue à l'ouest et à l'est, notamment en Aquitaine centrale où les fortes averses sont exceptionnelles pendant tout le printemps.

L'étude des différents seuils est peu significative car les fréquences mensuelles sont très faibles. Dans le sud-ouest, les seuils de longue durée sont les plus nombreux. Sur les rivages méditerranéens, notamment aux deux extrémités orientales et occidentales, les seuils de durée moyenne sont toujours les plus nombreux, mais les précipitations durables sont aussi bien représentées. En avril, à Nice, chaque année en moyenne, une averse donne plus de vingt-six millimètres en vingt-quatre heures.

5-1-2-3 Les brefs paroxysmes de l'été.

L'été sec n'est pas totalement dépourvu de pluies violentes, et en Aquitaine intérieure, le plus grand nombre de paroxysmes a lieu en juillet. En valeur absolue les fréquences sont très médiocres, mais par rapport aux autres saisons l'été est très troublé; l'originalité du toulousain et de ses marges méridionales

est donc relative. Ailleurs, des averses brutales surviennent en été, mais leur fréquence relative est moindre. Sur le littoral atlantique, le schéma est l'inverse de celui de l'intérieur; en mai-juin et en août, s'abattent de grosses pluies, mais juillet est un mois peu perturbé. Au nord en bordelais, le maximum des paroxysmes caractérise juin; au sud sur la côte basque, de tels excès ne sont pas rares, mais le maximum de fréquence, en août, annonce déjà l'automne. A l'ouest du Rhône, en août et mai, les excès sont les plus fréquents, et le parallélisme entre régimes moyens et fréquence des pluies diluviennes n'est pas vérifié. La primauté d'août est surtout observée dans les stations intérieures. A l'est du delta rhodanien, en mai et août, les records pluviométriques sont peu fréquents, mais en juin, les touristes sont parfois obligés de rester confinés dans leurs hôtels.

Les différents seuils sont inégalement répartis. En été, les pluies très brèves et brutales prédominent toujours. En août à Biarritz, pour onze chutes dépassant quatre millimètres en six minutes, on relève seulement deux précipitations supérieures à quarante huit millimètres en quatre jours. Les pluies fortes et durables sont donc très rares dans les Midis, en été, nouvelle démonstration contraire à certaines hypothèses récentes.

5-1-2-4 Les oppositions brutales de l'automne.

En septembre et octobre, l'opposition entre les deux Midis, et parfois même les régions, est prononcée. Sur les côtes d'Aquitaine, en septembre, les accidents sont très nombreux, et Biarritz enregistre le maximum de paroxysmes. Plus au nord, ces excès sont moins nombreux, mais septembre demeure après août un mois trou-

blé. Ces records correspondent pratiquement à tous les seuils, sauf les extrêmes peu fréquents. En octobre, les mécanismes violents s'effacent du moins sur le littoral, car en toulousain les paroxysmes atteignent un maximum; en outre, les seuils de dépassement de courte et moyenne durée sont les plus nombreux.

Deux types distincts aussi, sur les rivages méditerranéens, de part et d'autre du bas-Rhône; à l'ouest, septembre est peu perturbé; à Nîmes, de fortes pluies très courtes sont très fréquemment recensées en septembre, mais à Perpignan, aucune averse de ce type n'a été enregistrée pendant les dernières années. En octobre, mois le plus arrosé de l'année, les accidents pluviométriques sont fréquents, notamment dans le pays catalan; à Perpignan, les seuils de durée moyenne occupent le premier rang, devant les pluies diluviennes courtes ou durables; en Languedoc, le schéma est légèrement différent, les brèves averses prédominent. A l'est du Rhône, septembre et octobre sont un prélude aux grandes crises de novembre. En septembre, les excès pluviométriques peu fréquents, correspondent essentiellement à des durées inférieures à une heure; en octobre, des accidents plus durables sont recensés, sans dépasser ceux du Roussillon.

5-2 LES INTENSITES-DUREES MAXIMA (Fig 5.3).

Les intensités records sont mesurées pendant les intervalles les plus brefs. L'opposition entre Aquitaine et Méditerranée, nette malgré l'originalité du pays basque, n'est cependant pas constante; elle varie suivant les seuils retenus. Quand l'intervalle de temps est faible, l'écart en valeur absolue est très important; pour un seuil de six minutes et un temps de retour de un an, Cazaux recueille une pluie de 50 mm/h contre

96 mm/h à Montpellier. En valeur relative l'écart se creuse, le rapport de un à deux ci-dessus, passe de un à quatre pour le seuil 17 mm en 6 heures, même si en valeur absolue l'écart est inférieur à 10 mm/h.

L'amplitude de cette opposition varie aussi suivant le temps de retour considéré. Le prolongement des droites jusqu'à la limite dix ans montre que l'écart est d'autant plus net que le temps de retour est long. Cette loi est cependant troublée par des nuances régionales, car les pentes des droites ne sont pas constantes dans les deux Midis.

5-2-1 LES INTENSITES DUREES INFERIEURES A 9 MM/ 1 HEURE

Pour les seuils de faible durée, donc les intensités les plus fortes, le tracé des droites montre que les nuances régionales à peine perceptibles en Aquitaine, sont très accusées en Méditerranée; l'écart entre provinces arrosées et terroirs voisins plus secs est fort significatif.

En Aquitaine, les pluies records sont enregistrées sur le littoral, non dans l'intérieur, mais les différences sont médiocres; Bordeaux a reçu les plus fortes précipitations de brève durée, une averse au moins de 150 mm/ heure dans un intervalle de temps de six minutes. Le pays basque ne paraît nullement original pour ces seuils de durée très courte.

Sur les côtes méditerranéennes, les pluies de brèves durées sont plus intenses, surtout pour des temps de retour de un à cinq ans. Au-delà les accidents sont aussi redoutables en Aquitaine; seule la station de Montpellier a reçu une pluie plus intense, en dix ans, que celle de Bordeaux (160 mm/h contre 150 mm/h). Les intensités les plus fortes des Midis, sont relevées en

Provence et Languedoc pour les durées de retour très courtes; chaque année une pluie d'intensité supérieure à 85 mm/h est observée. Pour les temps de retour plus long les différences avec les provinces voisines de bas-Rhône et du Roussillon, s'estompent progressivement, et ces plaines peuvent recevoir des pluies dévastatrices dont l'intensité dépasse 120 mm/h.

5-2-2 LES INTENSITES-DUREES DES SEUILS MOYENS

(9 mm/h à 17 mm/ 6h)

Les droites, illustration des intensités maxima des seuils "moyens", montrent l'accroissement relatif de l'opposition entre les deux Midis; plus que ces différences, le trait fondamental reste le morcellement en Méditerranée et l'unité de l'Aquitaine.

Dans le sud-ouest, aucune variation spatiale spécifique et durable n'apparaît. Pour les pluies supérieures à 9 mm en une heure les intensités records augmentent du nord au sud, mais pour les seuils suivants aucune évolution n'est évidente, sauf les chutes diluviennes du pays basque. Cette unité est le résultat de deux variations différentielles, la première ouest-est et la seconde nord-sud; les intensités augmentent en effet de la côte vers l'intérieur et des Charentes au piémont pyrénéen.

Sur les rivages méditerranéens, les nuances régionales s'accroissent; le bas-Rhône et ses annexes reçoivent des pluies d'intensité très inférieure à celles enregistrées dans les régions voisines; à Nîmes, pour le seuil 17 mm en six heures, l'intensité horaire maxima observée, 16 millimètres, est près de la moitié de celle de Nice. A l'ouest et à l'est du delta rhodanien, les intensités-maxima augmentent lentement, et atteignent des records en Roussillon et dans le comté niçois.

L'absence de concordance entre régime pluviométrique moyen et intensités records est caractéristique; les deux droites de Perpignan et Montpellier presque confondues représentent deux régions dont les hauteurs annuelles de pluie sont très différentes. Les nuances régionales demeurent pour les seuils de durée plus grande.

5-2-3 LES INTENSITES DUREES DES SEUILS SUPERIEURS

A 17 MM/6 HEURES.

L'écart entre les provinces, très net pour les valeurs relatives, s'estompe pour les valeurs absolues. Quand la durée augmentant dépasse douze heures, les intensités maxima horaires diminuent dans toutes les régions. La discontinuité des précipitations est telle, que les pluies fortes de longue durée, sont très rares.

Les tracés des droites, leur pente font apparaître trois types de provinces. Sur les littoraux basques, du Roussillon, et de la côte-d'Azur au sens large, les intensités sont maxima, notamment à Biarritz, 8,7 mm en douze heures, soit cent cinq millimètres. Sur la côte méditerranéenne, une fois de plus, Roussillon et comté de Nice sont originaux.

Un second groupe de régions, le littoral atlantique au nord de l'Adour, et le bas-Rhône recueille des précipitations moins intenses pour ces durées très longues; les apports correspondants ne dépassent jamais 75 mm en douze heures.

En Aquitaine centrale, ces longues pluies fortes, très rares, ne présentent aucun caractère dramatique; à Toulouse et Saint-Girons, aucune précipitation ininterrompue pendant douze heures ne fournit plus de quarante millimètres d'eau; une fois encore se dégradent des fortes intensités du littoral vers l'intérieur.

5-3 LES PRECIPITATIONS - RECORDS (1966-1970)

Les familles de courbes intensités-durées maxima joignent les points d'intensité maxima; tracées jusqu'au seuil 17 mm en six heures, elles confirment certains caractères déjà décrits, notamment l'opposition entre Aquitaine et Méditerranée.

Les intensités horaires maxima sont relevées sur des intervalles de temps très brefs, car la pluie est un phénomène discontinu par nature et les violentes trombes ne durent pas plus de quelques minutes. Quand augmente la durée, les intensités records diminuent, observation commune à toutes les stations.

Les pluies brèves sont les plus brutales dans toutes les provinces méditerranéennes; à Montpellier fut enregistrée l'intensité maximum 160 mm/h pendant les cinq dernières années. Des études plus fines, avec des pluviographes plus nombreux, devraient permettre la découverte de nuances régionales mal dessinées, bien que les pays humides subissent les accidents les plus brutaux. En Aquitaine, cette même prudence est nécessaire : pour le seuil 4 mm en six minutes, les intensités les plus fortes mais aussi les plus faibles caractérisent deux stations intérieures, Toulouse et Saint-Girons. Il est donc peu rationnel de formuler des règles précises.

Pour les seuils où l'intervalle de temps dépasse une heure, une régionalisation s'impose. La courbe de Perpignan atteste l'originalité du Roussillon, où les averses donnent des hauteurs d'eau remarquables. Dans les autres régions méditerranéennes les paroxysmes sont moins brutaux. En Aquitaine, l'originalité bien connue du pays basque et des terroirs voisins transparaît sur la courbe de Biarritz. Quand l'intervalle de temps excède deux heures, la courbe de Biarritz rejoint celles des stations méditerranéennes et les paroxysmes sont donc aussi violents, mais aucune autre différenciation

spatiale ne trouble l'unité du bassin aquitain.

5-4 LA VARIABILITE DES DUREES INTENSITES MAXIMA

Il faut renoncer à un bilan détaillé de la variabilité des seuils de dépassement en fonction de tous les types dans un cadre saisonnier, car la faiblesse numérique de la population statistique globale ne permet pas d'extraire des sous-ensembles pour procéder à des traitements complexes. D'autre part, les moyennes sont si différentes que les écarts-types sont peu significatifs, et les coefficients de variation sont plus utiles. Malgré un nombre d'années faible, les grandes tendances se dégagent indéniablement, et la variabilité comprise entre 28 et 90 % permet de définir des types régionaux (Fig 5.2).

5-4-1 VARIABILITE DES PAROXYSMES DANS LES MIDIS SECS

L'opposition entre Aquitaine océanique et Aquitaine intérieure se confirme. Dans le toulousain et au pied des chaînons pyrénéens, la variabilité est maximum, toujours supérieure à 70 % sauf à Saint-Girons. L'Aquitaine intérieure a les excès les moins fréquents, et les plus dispersés : aux années sans paroxysmes succèdent des années où des violentes précipitations ruinent les récoltes. Troisième trait de l'intérieur, les nuances de variabilité évoluent suivant les types de seuils de dépassements (2). Les averses violentes mais brèves sont les moins régulières dans le temps et dans l'espace; les coefficients de variation atteignent et dépassent parfois

- (2) Ne pouvant pas étudier la variabilité de chaque seuil, (séries trop brèves), les regroupements suivants ont été effectués :

Inférieur à 9 mm/60 minutes

Compris entre 9 mm/60 minutes et 17mm/6h

Egal et supérieur à 21 mm/12 heures.

TAB. 5.1 - LES DUREES-INTENSITES MAXIMA ET
LEUR VARIABILITE

Biarritz	E	68	85	51	101	120	87
	FR	13	16	9	19	23	16
	ET	9	9	4	7	5	4
	CV	64	52	40	33	19	25
Bordeaux	E	24	41	24	44	48	35
	FR	11	18	11	20	22	16
	ET	2	4	2	5	4	4
	CV	38	54	48	58	35	54
Toulouse	E	22	24	15	17	14	11
	FR	22	25	15	17	14	11
	ET	2	3	1	2	2	2
	CV	46	63	47	51	61	64
Perpignan	E	45	63	50	88	53	22
	FR	14	19	15	27	16	6
	ET	3	4	5	9	3	3
	CV	37	28	44	51	31	63
Marignane	E	51	88	41	66	55	27
	FR	15	26	12	20	16	8
	ET	7	9	4	7	5	4
	CV	72	50	51	51	47	65
Nice	E	87	101	58	110	94	56
	FR	17	19	11	21	18	11
	ET	14	15	7	12	6	5
	CV	81	78	57	53	33	45

Légende :

E : effectif total

FR : fréquence relative

ET : écart-type

CV : coefficient de varia-
tion

1 : 4 mm/6mn et 6mm/15mn

2 : 7 mm/30 mn et 9mm/60 mn

3 : 11mm/ 2 h

4 : 14mm/ 3h et 17 mm/ 6 h

5 : 21mm/ 12 h et 26mm/24h

6 : 36mm/ 2j. et 48mm/ 4 j.

même 90 %; les pluies fortes mais durables, encore irrégulières, sont moins dispersées. Ces remarques contredisent la thèse affirmant le caractère orageux du climat toulousain, thèse fondée sur des observations non pas erronées, mais ne retenant que les pluies les plus remarquables très rares.

Les deux autres pôles de sécheresse du Roussillon et du bas-Rhône sont très différents. Les accidents plus fréquents sont plus réguliers à l'échelle annuelle; à Perpignan, le coefficient de variation est minimum (28 %).

Une profonde disharmonie existe entre la variabilité des régimes moyens et la variabilité des accidents, du moins en première analyse; cette conclusion surprenante semble indiquer que les années sèches ou pluvieuses ne dépendent nullement des paroxysmes; derrière ces résultats bruts, des variations saisonnières se compensent peut-être, mais pour vérifier cette hypothèse des séries plus longues sont nécessaires.

Ces caractères sont moins prononcés dans le bas-Rhône; à Montélimar au nord, et Marignane au sud, les coefficients de variation compris entre 35 et 45 % attestent une dispersion faible des excès; par rapport aux régions voisines, plus humides, la régularité des paroxysmes est grande. La seconde différence fondamentale avec le toulousain est la variabilité suivant les types de seuils. La dispersion augmente quand croît l'intensité-durée retenue, évolution inverse à celle du toulousain. Les accidents les plus brefs sont les plus réguliers et les années sans averses brutales sont rares. D'autre part, des nuances distinguent le Roussillon et le bas-Rhône, notamment pour les pluies violentes durables; à Marignane et Montélimar, pour les seuils supérieurs à 21 mm en douze heures, le coefficient de variation atteint ou dépasse 60 %, pour seulement 45 % à Perpignan. Les pluies violentes et durables

sont donc relativement plus régulières dans les Pyrénées orientales et les départements voisins.

5-4-2 LA FAIBLE VARIABILITE DES EXCES EN PAYS BASQUE

Les bassins intramontagnards et la côte basque sont très arrosés, et de nombreux excès sont recueillis chaque année; les coefficients de variation, toujours inférieurs à 35 %, soulignent la régularité temporelle de ces fortes pluies. Les pluies intenses et brèves sont très dispersées, comme en toulousain; à Biarritz en 1966 aucune pluie n'atteint 4 millimètres en six minutes, mais onze sont recueillis en 1968. Les fortes précipitations durables sont au contraire très régulièrement réparties; les coefficients de variation, inférieurs à 25 %, attestent une variabilité interannuelle médiocre. Chaque année de longues averses intenses donnent des hauteurs d'eau élevées expliquant en partie l'originalité pluviométrique de cette région.

5-4-3 LA VARIABILITE DES EXCES DANS LES MIDIS HUMIDES

Sur le littoral aquitain, les excès pluviométriques s'estompent du sud au nord. La variabilité interannuelle ne dépasse pas 50 % mais reste forte, et augmente du sud au nord, 48 % à Bordeaux. Les variations suivant les types de seuils sont identiques à celles des autres provinces d'Aquitaine; les pluies longues et durables sont plus régulières que les brèves averses diluviennes; seule originalité, la faiblesse des variations suivant les types de seuils, les coefficients étant compris entre 40 et 55 %.

Sur les rivages méditerranéens, Languedoc et comté

de Nice sont distincts. Dans les plaines et plateaux languedociens, la variabilité interannuelle, comprise entre 35 et 50 %, forme une transition entre le Roussillon et le bas-Rhône. Sur la côte-d'Azur, la variabilité interannuelle s'accroît fortement d'ouest en est, de Toulon à Nice où elle atteint presque 70 %; les accidents sont les plus nombreux et leur répartition est la plus capricieuse, pays toulousain excepté. En Languedoc, la dispersion est sensiblement égale pour tous les types de seuil, même si la variabilité interannuelle est légèrement plus élevée pour les pluies brèves, en particulier dans les stations côtières. Sur le littoral varois et niçois, cette opposition s'accroît; à Nice-aéroport, les coefficients de variation sont respectivement 82 et 45 % pour les pluies brèves et durables. Comme en Aquitaine, les paroxysmes les plus longs réapparaissent chaque année.

Conclusion

La schématisation spatiale et temporelle est telle que seules des tendances sont présentées; des vérifications ultérieures avec des séries plus longues sont nécessaires.

Les fréquences des paroxysmes pluviométriques s'ordonnent suivant des lois précises du type bilogarithmique. Des droites ajustées permettent de déterminer l'intensité-durée pour un intervalle de récurrence donné. Les averses record s'ordonnent suivant une loi du type :

$$I_m = \frac{a}{b + t}$$

avec I en mm/heure

t en minute

a et b : des paramètres variables suivant les stations.

Les pluies les plus intenses sont très brèves, illustrant parfaitement la discontinuité "naturelle" du fait pluvieux non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. En Aquitaine, sauf dans le toulousain, les pluies intenses mais aussi durables sont plus représentées que sur les rivages méditerranéens, où le Roussillon est souvent original.

Les liens entre hauteur annuelle et intensités maxima semblent différents dans les deux domaines. En Aquitaine, il existe indéniablement une correspondance entre les "pays" humides et les averses brutales; dans le pays basque, les excès sont les plus amples et les plus fréquentes. Les campagnes toulousaines, pôle de sécheresse, sont très rarement dévastées par ces déluges. Sur le littoral méditerranéen, cette correspondance n'existe pas; les Midis arrosés, Provence orientale et Languedoc ne reçoivent pas plus d'averses copieuses que le Roussillon où la sécheresse est plus marquée. Des distorsions apparaissent aussi à l'échelle mensuelle.

En Aquitaine, pour les seuils de durée brefs, la variabilité relative est maximum, mais sur les littoraux méditerranéens, malgré des nuances régionales, notamment en Languedoc et surtout dans le comté de Nice, elles sont les plus régulières.

Cette étude succincte fait apparaître des paradoxes : en Aquitaine, la variabilité des régimes moyens et la variabilité des excès concordent; des liens entre années pluvieuses et les fortes intensités peuvent être établis. Sur le littoral méditerranéen ce parallélisme n'existe plus et semble même inversé. La variabilité des régimes moyens, forte à l'ouest en Roussillon, s'estompe vers la frontière italienne; mais les variations interannuelles des excès ont une distribution spatiale inverse : elles augmentent d'ouest en est, et atteignent des records dans le pays mentonnais.

C H A P I T R E S I X

LES LOIS DE COMPOSITION

Dans les cinq premiers chapitres, sont étudiées les variations spatiales et les irrégularités temporelles des éléments du complexe pluviométrique. Ces éléments sont engendrés par des mécanismes communs. Existe-t-il des liaisons entre ces divers paramètres ? Telle est l'hypothèse générale de ce chapitre. Ces liens, s'ils existent, constituent l'ensemble des lois de composition.

Cette analyse des relations dans un cadre temporel et spatial soulève deux types de problèmes. Dans le temps, les différents régimes, des hauteurs, des durées, des intensités... sont comparés deux à deux, en employant le coefficient de corrélation des rangs de Spearman; les douze mois de l'année sont classés par ordre d'importance pour les différents paramètres, puis le coefficient est déterminé pour des séries de régimes prises deux à deux

$$R \text{ rang} = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

où D = différence entre deux rangs des valeurs correspondantes de deux séries.

N = le nombre de paires de valeurs, toujours 12 dans le cas présent (12 mois).

Le second thème très général, est de démontrer l'existence ou l'absence de relations entre les divers éléments, non plus dans le temps, mais dans l'espace à l'échelle de l'année, et de six mois représentatifs des saisons. Deux techniques voisines, la régression linéaire et la corrélation linéaire existent, la première prédictive, et la seconde seulement théorique. La

seconde technique est plus simple; les coefficients ont été calculés deux à deux pour les cinq paramètres suivants :

- 1 - Hauteur
- 2 - Intensité moyenne
- 3 - Durée
- 4 - Intensité maximum
- 5 - Variabilité relative des hauteurs.

Cette technique simple, présente un inconvénient par rapport à la régression linéaire. En effet, un coefficient de corrélation de Pearson n'a de sens que pour des distributions marginales gaussiennes. Cette règle fondamentale explique le choix des intensités moyennes. A l'échelle mensuelle, il faut renoncer au calcul de certains coefficients ou du moins à apprécier leur signification.

Une seconde question se pose : quel est l'influence de "l'autocorrélation spatiale" (1) ? Ce problème sous-jacent à toutes les techniques statistiques est actuellement difficile à résoudre simplement; les hypothèses sont donc testées pour l'ensemble des Midis puis pour chaque domaine. L'insuffisance des données ne permet pas de descendre à une échelle plus petite, sauf pour certains coefficients peu importants (hauteurs-variabilité des hauteurs).

Ces différentes techniques très simples dans leur principe, nécessitent l'emploi de l'ordinateur d'où la précision des résultats obtenus qui ont seulement une valeur relative. Une relation est forte quand R est compris entre + 0,80 et 1 (relation directe) ou entre - 0,80 et -1 (relation indirecte). Entre $\pm 0,60$ et $\pm 0,80$ on parle de tendance (2).

- (1) Ce problème est abordé dans l'ouvrage de Leslie J King, Statistical analysis in geography (14).
- (2) Une relation est significative pour $R \pm 0,56$, mais quand la binormalité est vérifiée.

TAB. 6.1 - CORRELATIONS ENTRE LES ELEMENTS DU
COMPLEXE PLUVIOMETRIQUE

	1	2	3	4	5
1	1.00				
2	0.50	1.00			
3			1.00		
4				1.00	
5	-0.65			-0.61	1.00

6.1.1. Année : Ensemble des deux domaines

1	1.00				
2	0.57	1.00			
3			1.00		
4	0.88			1.00	
5	-0.57		-0.50		1.00

6.1.2 Année : Ensemble méditerranéen

1	1.00				
2	0.87	1.00			
3			1.00		
4	0.94	0.72		1.00	
5				-0.83	1.00

6.1.3 Année : Ensemble Aquitain

1	1.00				
2	0.62	1.00			
3	0.62		1.00		
4				1.00	
5			-0.50		1.00

6.1.4 Février ensemble des deux Midis

1	1.00				
2	0.97	1.00			
3	0.91	0.88	1.00		
4				1.00	
5					1.00

6.1.5 Février ensemble méditerranéen

TAB. 6.1 - CORRELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DU
COMPLEXE PLUVIOMETRIQUE (suite)

1	1.00			
2	0.55	1.00		
3		0.59	1.00	
4			0.56	1.00
5	0.66			1.00
6.1.6 Février : Ensemble aquitain				

1	1.00			
2		1.00		
3	0.56		1.00	
4			1.00	
5				1.00
6.1.7 Mars : Ensemble des deux Midis				

1	1.00			
2		1.00		
3	0.70		1.00	
4			0.75	1.00
5			-0.89	1.00
6.1.8 Mars : Ensemble méditerranéen				

1	1.00			
2		1.00		
3	0.82		1.00	
4	0.88	-0.65	0.67	1.00
5				1.00
6.1.9 Mars : Ensemble aquitain				

1	1.00			
2	0.82	1.00		
3	0.83		1.00	
4			1.00	
5				1.00
6.1.10 Mai : Ensemble des deux Midis				

TAB. 6.1 - CORRELATIONS ENTRE LES ELEMENTS DU
COMPLEXES PLUVIOMETRIQUE (suite)

1	1.00			
2	0.93	1.00		
3			1.00	
4		-0.70	0.70	1.00
5				1.00
6.1.11 Mai : Ensemble méditerranéen				

1	1.00			
2	0.83	1.00		
3	0.78	0.79	1.00	
4				1.00
5				1.00
6.1.12 Mai : Ensemble aquitain				

1	1.00			
2		1.00		
3	0.90		1.00	
4				1.00
5				1.00
6.1.13 Juillet : Ensemble des deux Midis				

1	1.00			
2	0.52	1.00		
3	0.63		1.00	
4				1.00
5	-0.73		-0.97	1.00
6.1.14 Juillet : Ensemble méditerranéen				

1	1.00			
2		1.00		
3	0.68		1.00	
4		-0.56		1.00
5				1.00
6.1.15 Juillet : Ensemble aquitain				

TAB. 6.1 - CORRELATIONS..... (suite et fin)

1	1.00			
2	0.74	1.00		
3			1.00	
4	0.61		1.00	
5				1.00
6.1.16 Octobre : Ensemble des deux Midis				

1	1.00			
2		1.00		
3			1.00	
4	0.81		0.55	1.00
5				1.00
6.1.17 Octobre : Ensemble méditerranéen				

1	1.00			
2	0.91	1.00		
3	0.77	0.66	1.00	
4	0.54		0.52	1.00
5				1.00
6.1.18 Octobre : Ensemble aquitain				

1	1.00			
2	0.90	1.00		
3	0.73		1.00	
4	0.65		1.00	
5				1.00
6.1.19 Décembre : Ensemble des deux Midis				

1	1.00			
2		1.00		
3			1.00	
4	0.65		0.75	1.00
5	0.93		-0.73	1.00
6.1.20 Décembre : Ensemble méditerranéen				

1	1.00			
2	0.94	1.00		
3	0.70	0.66	1.00	
4	0.78	-0.72	0.57	1.00
5	0.55			1.00
6.1.21 Décembre : Ensemble aquitain				

Légende : 1 : hauteur; 2: intensité moyenne; 3: durée;
4 : intensité maximum; 5: variabilité rela-
tive des hauteurs.

Le coefficient de corrélation indique l'existence ou l'absence d'une corrélation, mais ne précise pas l'intensité de cette relation qui peut être mesurée par le coefficient de détermination égal au carré du coefficient de corrélation. Dans cet ouvrage théorique ces calculs supplémentaires sont inutiles, d'autant plus que les liens existants ne sont pas ceux de causalité au sens propre du terme.

Les résultats obtenus sont surprenants, mais des relations doivent exister dans un cadre spatial plus restreint. Cependant cette hypothèse ne peut pas être actuellement vérifiée, avec les données disponibles.

6-1 LES LIENS ENTRE LES ELEMENTS PLUVIOMETRIQUES

6-1-1 A L'ECHELLE ANNUELLE

Pour l'année, trois séries de coefficients de Pearson varient suivant l'espace retenu, les deux Midis, l'Aquitaine ou les rivages méditerranéens. Dans le cadre des deux Midis aucun coefficient de Pearson n'atteint le seuil de 0,80, et ne lie deux paramètres. Deux tendances sont révélées; l'évolution inversement proportionnelle de la variabilité relative des hauteurs par rapport à ces mêmes hauteurs et la relation entre les paroxysmes et la variabilité relative des hauteurs. Les coefficients de détermination inférieurs à 0,40 ne permettent pas de déterminer la variabilité des hauteurs ou des paroxysmes à partir des moyennes; le climatologue se tromperait plus d'une fois sur deux. Aucune autre corrélation n'a de valeur significative.

A l'échelle des deux domaines, les liaisons sont plus fortes et plus nombreuses, mais les espaces blancs dominant toujours dans les tableaux, espaces blancs qui traduisent l'absence de corrélation significative. Dans les deux domaines, la corrélation entre les hauteurs

moyennes et les intensités moyennes, est nette, particulièrement en Aquitaine; mais cette corrélation ne présente pas d'intérêt pratique, l'intensité moyenne étant un paramètre peu réaliste.

Les coefficients de Bravais-Pearson lient les hauteurs et intensités-durées maxima : dans les stations les plus arrosées les paroxysmes sont les plus nombreux; les maxima pluviométriques régionaux ont essentiellement pour origine les intensités records. En fait, cette loi, en contradiction partielle avec la distribution des accidents analysés précédemment dans la seconde partie de ce chapitre montre un piège de la corrélation; le résultat satisfaisant au premier abord cache des phénomènes de compensation et une réalité plus complexe.

En Aquitaine, des liens unissent aussi les intensités maxima et la variabilité relative des hauteurs. Les accidents pluviométriques sont relativement moins dispersés dans les stations très arrosées. Sur les rivages méditerranéens cette loi inverse n'est pas vérifiée, sauf à des échelles plus fines, témoignage de l'éclatement spatial du domaine méditerranéen.

Les liens entre les hauteurs et leur variabilité relative, à peine perceptibles en Méditerranée, n'apparaissent pas en Aquitaine, originalité surprenante car la variabilité spatiale des pluies est moindre. Par contre les paroxysmes sont non seulement liés aux hauteurs, mais aussi aux intensités moyennes. En Aquitaine, ce paramètre serait donc plus satisfaisant.

A l'échelle annuelle, sur dix paramètres calculés, trois ou quatre seulement ont un sens; les lois de composition du complexe pluviométrique sont peu nombreuses dans ce cadre temporel et spatial. Il est possible qu'à l'échelle de l'année, des liens unissent les éléments de la pluviosité, mais dans des espaces plus limités.

6-1-2 A L'ECHELLE MENSUELLE

6-1-2-1 Les liens hauteur-durée.

Les liens entre hauteur et durée varient suivant les mois; en mars et octobre, mois représentatifs des saisons intermédiaires, aucune loi ne s'observe à l'échelle de l'ensemble méridional, et dans le domaine méditerranéen. Au printemps cette absence de lien s'observe aussi en Aquitaine. En mars et octobre, les hauteurs augmentent après une sécheresse relative, mais la durée n'évolue pas dans le même sens.

En hiver, des corrélations sont significatives. La loi statistique qui relie la hauteur et la durée des précipitations en décembre, en Aquitaine, n'est pas vérifiée en Méditerranée, où ce mois prolonge l'automne. Inversement en février, la corrélation forte sur la côte méditerranéenne est à peine significative dans les sud-ouest.

En été, ces corrélations variables s'observent souvent, surtout en Aquitaine. Malgré des nuances, des liens unissent les hauteurs et les durées mensuelles en hiver et en été, mais pendant les saisons intermédiaires aucune règle ne peut être avancée.

6-1-2-2 Les liens hauteur-intensité moyenne

Les liens hauteur-intensité moyenne présentent peu d'intérêt, l'intensité moyenne n'étant pas un paramètre satisfaisant; mais il était impossible de prendre en compte les intensités réelles dont la distribution fréquentielle n'est pas "normale". Les coefficients de corrélation montrent une tendance simple : minima au cours des saisons sèches, surtout en été, ils sont au contraire très élevés en automne et au début de l'hiver, du moins en Aquitaine. Sur les rivages méditerranéens,

cette corrélation n'existe réellement qu'au printemps, saison pluvieuse secondaire.

6-1-2-3 Les liens hauteur-durée-intensité maxima

Dans l'analyse des relations à l'échelle annuelle nous avons été surpris des fortes valeurs des coefficients de Pearson, et émis des doutes quant à leur signification. Les résultats mensuels renforcent cette méfiance. Pendant les mois pluvieux de septembre à décembre, une relation unit les hauteurs et les paroxysmes, mais elle est médiocre avec des coefficients de détermination inférieurs à 0,60, sauf en octobre dans le sud-est. Au printemps, second maximum pluviométrique, les corrélations s'observent seulement en Aquitaine. A la fin de l'hiver, au printemps en Méditerranée, et au coeur de l'été les coefficients ne sont pas significatifs; les liens entre hauteur et paroxysmes caractérisent uniquement la principale saison pluvieuse. Les autres mois reçoivent des précipitations variées, y compris de forte intensité sans être très humides, par exemple les paroxysmes très brefs de l'été.

6-1-2-4 Les rapports durée-intensité moyenne et durée-intensité maxima.

Les rapports entre durée et intensité moyenne sont pratiquement inexistants pour l'ensemble des mois considérés à toutes les échelles spatiales. Deux exceptions : la première, en décembre, quand les pluies durent et sont relativement intenses; la seconde, en juillet, où la relation n'est pas directe, mais inverse en Méditerranée. Les valeurs, très faibles, des coefficients sont toutes négatives pendant les mois chauds, et cette relation linéaire inverse n'est donc pas un accident.

Sur les côtes méditerranéennes, sauf en février, aucune relation n'unit la durée et les accidents pluviométriques. En Aquitaine, même si aucun coefficient ne dépasse 0,80 un lien diffus existe entre les deux paramètres pendant les périodes pluvieuses.

6-1-2-5 Les rapports intensité moyenne et excès pluviométriques.

Des liens unissent les excès et l'intensité moyenne; les coefficients de détermination toujours inférieurs à 0,60, soulignent la faible intensité de la relation. Ces relations entre les deux indices sont toujours plus fortes en Méditerranée, et elles existent essentiellement pendant les saisons pluvieuses. Les coefficients de corrélation ou les rapports de corrélation ne sont jamais significatifs en été (3).

6-1-2-6 Les liens entre les paramètres et leur variabilité relative.

A l'échelle mensuelle, faute de données suffisamment nombreuses, tous les coefficients de corrélations, et les tableaux n'offrent des résultats que pour les hauteurs et les durées. La relation est toujours inverse pour les deux éléments, car est retenue la variabilité relative; avec la variabilité absolue, les coefficients sont positifs, mais pas significatifs pour aucun mois dans les sud-est français.

Sur les rivages méditerranéens, les liens entre hauteur et la variabilité relative existent souvent; plus étroits pendant les saisons extrêmes d'été et d'hiver, ils apparaissent aussi pendant des mois de transition comme mars. En Aquitaine, la relation existe parfois pour la variabilité absolue. Inversement, les

(3) Les distributions marginales n'étant pas normales on a calculé le rapport de corrélation.

liens entre les durées et leur dispersion sont inexistantes en Méditerranée à la fin du printemps et au début de l'été. En Aquitaine, la relation est vérifiée spécialement au coeur de l'été et en hiver, les deux saisons extrêmes.

Conclusion

A l'échelle des deux domaines les relations entre les éléments de la pluviosité sont inexistantes, ou ne relèvent que de compensations. Dans un cadre plus restreint, provincial, des liaisons apparaissent, mais assez rarement; sur 210 coefficients calculés plus de 50 % n'ont aucune signification, et 16 seulement sont supérieurs à + 0,80.

D'autre part, ces relations caractérisent les mois arrosés ou très secs. Pour les saisons de transition, au sens pluviométrique, ces liens s'estompent ou disparaissent totalement.

Les conséquences géographiques sont nombreuses, mais seules quelques remarques sont faites. Les lois générales de la pluviométrie s'inscrivent toujours dans un cadre spatial donné. La division régionale est la plus favorable pour des analyses précises; aucune conclusion ne peut être généralisée spatialement; des remarques faites sur la pluviosité dans le bas-Rhône ne sont pas obligatoirement valables sur les terroirs voisins du Languedoc.

L'absence de corrélation entre les différents paramètres, démontre qu'à chaque problème particulier le géographe doit utiliser l'indice convenable. La hauteur d'eau ne traduit pas les autres éléments et s'avère donc parfois inutile. Dans certaines études morphologiques les durées-intensités records sont plus satisfaisantes, la hauteur donnant des renseignements insuffisants sinon erronés.

6-2 LES LIENS ENTRE LES DIVERS REGIMES

Dans la première partie de ce chapitre sont étudiées les lois statistiques à l'échelle de l'année et pour chaque mois pris séparément. Dans cette seconde partie, sont analysés les liens entre les régimes. Les différents critères de la pluviométrie ont été classés mensuellement, suivant la technique très simple des rangs. Voici le tableau obtenu pour la station de Mari-gnane :

	1	2	3	4	5	6
J	8	5	12	11	12	9
F	5	1	11	4	7	8
M	6	2	8	8	2	2
A	8	7	5	9	3	7
M	7	6	7	6	5	12
J	10	9	9	3	8	11
Jt	12	12	10	12	1	1
A	11	11	4	7	4	6
S	2	10	1	2	9	5
O	2	8	2	5	6	3
N	1	3	3	1	10	10
D	4	4	6	11	11	4

Légende :

- | | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| 1 = hauteur moyenne | 4 = intensité-durée maxima |
| 2 = durée moyenne | 5 = variation relative de la hauteur |
| 3 = intensité moyenne | 6 = variation relative de la durée |

A partir de ces tableaux dressés pour chaque station, les coefficients de corrélation des rangs de Spearman ont été calculés pour les couples de données suivants :

1 Hauteur moyenne - Durée moyenne

- | | |
|---------------------|-------------------------------------|
| 2 Hauteur moyenne | - Intensité moyenne |
| 3 Hauteur moyenne | - Intensité-durée maxima |
| 4 Hauteur moyenne | - Variabilité relative des hauteurs |
| 5 Durée moyenne | - Intensité moyenne |
| 6 Durée moyenne | - Intensité-durée maxima |
| 7 Durée moyenne | - Variabilité relative des durées |
| 8 Intensité moyenne | - Intensité-durée maxima |

Huit coefficients sur quinze possibles présentent de l'intérêt. Ces coefficients de Spearman permettent de mettre en relief la présence ou l'absence de liens, non pas entre les données elles-mêmes, mais entre leur répartition au cours de l'année c'est-à-dire entre les régimes. Quand les résultats sont compris entre -0,50 et + 0,50, ils ne sont pas transcrits, car pour $N = 12$, R n'est plus significatif en deçà de ces seuils. Les espaces blancs du tableau reflètent l'absence de liens entre les régimes.

6-2-1 LES LIENS ENTRE LES REGIMES SUR LES RIVAGES MEDITERRANEENS

Après avoir exclu le Roussillon, il faut remarquer l'absence de relation entre certains régimes dans toutes les stations, par exemple entre durée et intensité. Sauf sur la côte-d'Azur, les régimes des hauteurs et des durées ne coïncident pas, anomalie due au rythme de l'hiver. Dans toutes les stations méditerranéennes, sauf à l'est de Toulon, les pluies donnent des modules très faibles en janvier et février, mais elles durent; cette disharmonie disparaît plus à l'ouest, où durées et hauteurs moyennes sont médiocres.

Les rapports entre régime des hauteurs et régime des intensités moyennes sont les plus apparents, et à

TAB.6-2 - COEFFICIENTS DE CORRELATIONS DES RANGS
DE SPEARMAN
(les relations entre les régimes)

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8
Nice	0.62	0.69	0.58	-0.52				
Toulon	0.59	0.64	0.54	-0.50				
Marignane		0.55	0.51	-0.51				
Nîmes		0.72		-0.53				
Montpellier		0.80		-0.55				
Perpignan		0.86	0.64	-0.56	-0.53	-0.59		
Carcassonne	0.73							-0.51
Saint-Girons					-0.61	-0.68		
Toulouse					-0.60	-0.66		
Agen	0.51				-0.51	-0.52		
Bordeaux	0.58	0.82						
Cazaux	0.54	0.78						
Biarritz	0.58	0.80	0.68	0.59				0.65
Tarbes	0.57	0.82	0.61					0.52

La légende est dans le texte.

l'ouest du Rhône en Languedoc et Roussillon, les coefficients sont supérieurs à 0,90; aux mois les plus arrosés correspondent les intensités moyennes les plus fortes. Faute de données suffisantes, il faut encore renoncer à découvrir des liens entre le régime des hauteurs et celui des intensités réelles; cependant le décalage de l'été, mois peu arrosés par des averses intenses, doit entraîner une corrélation moins prononcée.

Les rapports entre régime des hauteurs et régime des intensités-durées maxima, redécoupent le domaine méditerranéen. A l'est du Rhône, les coefficients sont compris entre 0,50 et 0,60, médiocrité qui a pour origine le premier semestre de l'année; en janvier et février, les hauteurs sont faibles, mais les paroxysmes fréquents et inversement au printemps, notamment en mars, les accidents pluviométriques sont très rares, malgré des totaux plus copieux. En Languedoc, la disharmonie entre les deux régimes est encore plus forte; le printemps bien arrosé reçoit rarement des pluies dévastatrices, qui sont plus fréquentes en juillet, et surtout en août. Malgré la coïncidence des deux régimes en automne, la somme des "distances" pendant les autres saisons explique très bien l'absence de corrélation significative. En Roussillon, si la station de Perpignan est bien représentative, les deux régimes convergent au contraire; les paroxysmes s'effacent en été, et leur fréquence diminue aussi en janvier-février. Cette évolution explique sinon la concordance parfaite entre les deux régimes, du moins leur parallélisme, témoin la valeur 0,65 du coefficient de corrélation.

Les liens entre les régimes des hauteurs et leur variabilité relative sont inexistants, dans toutes les stations; cette absence de liaison s'explique aisément : la règle de la variabilité relative inversement proportionnelle à la hauteur est exacte à l'échelle annuelle,

dans un cadre spatial régional, mais à l'échelle mensuelle de très nombreuses exceptions s'observent; ainsi la forte variabilité au printemps, quand le volume des précipitations est important.

6-2-2 LES LIAISONS DES REGIMES EN AQUITAINE

En Aquitaine, les résultats font apparaître trois régions nettement individualisées.

6-2-2-1 Le pays basque

En pays basque, le géographe décompte un grand nombre de relations significatives. Comme en Languedoc et Roussillon, les régimes des hauteurs et des intensités moyennes sont étroitement liés; les mois les plus arrosés enregistrent les précipitations d'intensité-durée maxima sont liés à celui des hauteurs mensuelles, et à celui des intensités moyennes; la correspondance est imparfaite, mais à la fin de l'automne les précipitations les plus abondantes sont les plus intenses; la disharmonie a pour origine un décalage des paroxysmes pluviométriques à la fin de l'été et au début de l'automne, alors que les hauteurs mensuelles records sont relevées en novembre et décembre.

Les liens entre durée et hauteurs sont significatifs 0,58, même si la relation est médiocre. En pays basque, des liens unissent les divers régimes et celui des hauteurs; mais entre eux ces régimes sont indépendants, notamment ceux des intensités moyennes ou maxima et celui des durées. Cette indépendance totale est due aux fortes pluies de fin d'été et aux longues durées en hiver et au printemps.

6-2-2-2 L'Aquitaine intérieure

En Aquitaine intérieure, les liens entre les divers

régimes sont pratiquement inexistants, cinq coefficients sur huit sont non significatifs. Les écarts très faibles entre les douze mois, le caractère heurté du régime toulousain des hauteurs sont les deux facteurs essentiels de cette absence de liens.

Les seules tendances décelables concernent les régimes des durées et ceux des intensités. Comme en pays basque, on retrouve des liens mensuels entre les intensités moyennes et les intensités records, avec de légers déphasages. En août et septembre, les intensités moyennes sont les plus fortes tandis que les paroxysmes les plus fréquents caractérisent septembre et octobre.

Les rapprochements entre régime des durées et régime des intensités, sont caractéristiques; ils sont inversement proportionnels, et aux mois longuement arrosés, décembre ou janvier, correspondent des intensités moyennes très faibles, et peu de paroxysmes. Les liens entre régimes, indirects, démontrent l'originalité de ce centre aquitain.

6-2-2-3 L'Aquitaine océanique

Les stations atlantiques forment un troisième type apparenté au pays basque. Les liens entre régime des hauteurs et régime des intensités moyennes sont très forts; les intensités moyennes les plus fortes en automne-hiver donnent des hauteurs d'eau élevées.

Les liens entre régime des hauteurs et régime des durées sont moins nets, car les longues durées persistent à la fin de l'hiver quand les hauteurs mensuelles décroissent. Cette évolution est typique non seulement de l'Aquitaine, mais de l'ensemble des deux Midis.

Par contre un décalage fondamental sépare le régime des hauteurs et celui des intensités maxima. Ces dernières, très rares en juillet, sont au contraire très fréquentes en août et juin, mois relativement secs.

Cette anomalie se traduit par l'absence de relation entre ces deux régimes. Cette dispersion temporelle originale exclut aussi une liaison entre les intensités moyennes et les intensités-durées maxima.

CONCLUSION

Au terme de ce chapitre quelques brèves conclusions s'imposent. Les distributions des régimes ne sont pas automatiquement corrélées, remarque fondamentale pour le géographe. Suivant le type de problème à résoudre il devra avoir recours aux durées, intensités... et ne pas se contenter du régime des hauteurs, image trop imparfaite des autres régimes. L'exemple de la climatologie touristique est très démonstratif; pour tous les chercheurs la durée est l'élément le plus important; or, dans toutes les régions méridionales, sauf sur la côte d'Azur, la saison pluvieuse d'hiver examinée sous l'angle de la durée se prolonge en janvier et février. Citer les hauteurs moyennes et leur déclin à la fin de l'hiver est une grave erreur. Le beau temps n'est pas rare en hiver, mais les longues pluies ne sont nullement exceptionnelles.

Les corrélations les plus nettes unissent les régimes des hauteurs et des intensités moyennes, paramètre peu satisfaisant; malheureusement faute de séries très longues, il est impossible de calculer le coefficient de Spearman pour de nombreuses stations en tenant compte des intensités réelles. Pour Bordeaux et Montpellier, où les séries sont plus longues le coefficient obtenu n'est pas significatif, car les pluies d'été sont fortes tandis que le paramètre intensité moyenne les présente comme très modérées.

CONCLUSION PARTIELLE

Parvenu à la fin de ces deux premières parties, une conclusion partielle s'impose. Seules les principales variations spatiales des éléments sont rappelées à l'échelle des domaines, puis plus brièvement à celle des "régions". Les autres lois ne sont pas reprises dans cette conclusion partielle.

LES PRECIPITATIONS EN AQUITAINE ET MEDITERRANEE

De très nombreux caractères unissent Aquitaine et rivages méditerranéens; toutes les lois, vérifiées ou découvertes, sont semblables pour tous les postes méridionaux, même si les paramètres a, b ou c varient dans le temps et l'espace. Les causes pluviométriques sont donc identiques, mais se combinent et donnent des complexes multiples. Ainsi par exemple, les hauteurs annuelles s'ordonnent suivant une loi de gauss dans toutes les régions; il est probable que toutes ces lois se vérifient même à l'échelle de toute la zone tempérée.

Un second trait commun aux deux Midis, est la prépondérance des limites méridiennes; cette caractéristique a déjà été mise en valeur surtout en Méditerranée; cette règle s'observe aussi en Aquitaine où une frontière nord-sud très marquée sépare la province océanique et la province intérieure.

Les caractères de différenciation, plus nombreux, sont aussi plus révélateurs de l'originalité de chaque Midi. La variabilité spatiale est toujours plus faible en Aquitaine, quel que soit le paramètre étudié. La durée des pluies est l'indicateur le moins variable, et dans le sud-ouest il est difficile de découper l'espace en tenant compte des seules heures annuelles moyennes de pluie. En Méditerranée, malgré une variabilité spatiale encore faible, des écarts de 200 heures peuvent

être relevés entre différentes stations.

Cette variabilité spatiale augmente pour les hauteurs, se renforce pour les intensités, et atteint un maximum pour les paroxysmes. La comparaison entre les courbes de Biarritz et de Toulouse, ou de Nîmes et Perpignan (Fig 5.1), illustrent la forte variabilité des durées-intensités maxima. Les conséquences géographiques sont importantes; quel que soit le thème d'étude, l'intégration des divers indicateurs de précipitation se fait à des échelles différentes. Cette variabilité spatiale, maximum en Méditerranée, semble évidente, mais par déduction logique il faut alors admettre que toutes les cartes, où le morcellement du domaine aquitain est plus grand, sont erronées. Les provinces pluviométriques homogènes sont toujours plus étendues en Aquitaine.

L'effet continental est aussi différent dans les deux Midis. En Aquitaine, les hauteurs décroissent du littoral vers l'intérieur, tandis que sur les rivages méditerranéens l'évolution est inverse. Cette opposition caractérise aussi les autres paramètres, notamment les intensités; en Aquitaine, la fréquence relative des bruines augmente vers l'intérieur tandis qu'elle diminue en Méditerranée. Deux différences expliquent partiellement cette opposition; la disposition littoral intérieur nord-sud en Méditerranée, devient ouest-est en Aquitaine. D'autre part, les montagnes élevées toujours proches du littoral méditerranéen modifient et transforment l'effet continental.

La forme spatiale des averses est un autre élément de différenciation; en Aquitaine, les pluies s'étirent en bandes plus ou moins serrées, qui souvent se rejoignent dans l'intérieur; en Méditerranée, cette structure rubanée est remplacée par des formes en taches, très visibles sur les échos radars obtenus à Marignane. En

outre, ces taches sont indépendantes, particulièrement en été quand la discontinuité spatiale des averses atteint un maximum.

Les différences majeures caractérisent les rythmes saisonniers des divers paramètres. Les pluies durables, plus nombreuses, sont relativement moins fréquentes en Aquitaine. Le maximum hivernal des durées mensuelles moyennes est décalé en janvier dans le sud-ouest, et dans de très nombreux postes le minimum a lieu en août. En Méditerranée, où ces déphasages ne s'observent pas, les pluies durables sont cependant relativement plus fréquentes à la fin de l'hiver. Le printemps aquitain ne présente pas de grande originalité, tandis qu'en Méditerranée les classes extrêmes des pluies brèves et durables se renforcent, surtout à l'est.

Les différences sont encore plus sensibles pour les intensités; moins nombreuses en valeur absolue, les bruines sont relativement plus fréquentes sur les littoraux méditerranéens. D'autre part, les apports maximum, dus aux averses diluviennes en Méditerranée, sont fournis par les averses d'intensité moyenne en Aquitaine, pays basque excepté.

A l'échelle des saisons, le renforcement généralisé des pluies fines en Aquitaine au printemps est moins net en Méditerranée; cette tendance se prolonge jusqu'en août, au moins pour les hauteurs journalières. En outre, les saisons pluvieuses ont des averses d'intensité moyenne en Aquitaine, tandis qu'elles sont fortes en Méditerranée.

La figure 5.1 reflète parfaitement l'opposition des distributions des paroxysmes. Le décentrage des courbes représentatives des stations aquitaines, notamment celle de Biarritz, montre que les longues durées-intensités de 26 mm/ 24 heures et plus sont nettement plus fréquentes. En Méditerranée, les paroxysmes, plus

nombreux, sont aussi plus brefs. D'autre part, à l'échelle annuelle la variabilité spatiale est nettement plus élevée en Aquitaine; les courbes de Perpignan et Nice, sont moins éloignées que celles de Biarritz et Toulouse.

Les régimes des hauteurs varient suivant les échelles spatiales et temporelles. En Aquitaine, la saison pluvieuse principale dure d'octobre à janvier; les quatre mois de juin à septembre forment une saison déficitaire, mais seul juillet est véritablement sec. De février à avril, des mois différents donnent un printemps peu net, tandis que mai, isolé, constitue à lui seul une saison. En Méditerranée, la saison pluvieuse débute en septembre et s'arrête à la fin décembre; la saison sèche de juin à août plus nette est aussi plus régulière; le premier bimestre janvier-février est relativement sec par rapport au printemps, mais cette différence apparaît mal à cette échelle du sud-est.

Au cours du dernier siècle ces régimes ont subi des transformations; en Aquitaine, au cours des phases pluvieuses, l'hiver humide s'éternise tandis qu'en Méditerranée les différences saisonnières s'accroissent : de fortes pluies tombent en automne et au printemps. Pendant les périodes sèches, le régime méditerranéen est moins contrasté, l'été n'étant pas plus sec. En Aquitaine, le printemps est moins humide et la sécheresse estivale qui débute en juin s'achève dès la fin juillet. La seconde variation, le décalage des maxima mensuels, d'octobre à novembre en Méditerranée et de novembre à décembre en Aquitaine, est indépendant des variations pluviométriques. Ces phases humides et sèches ne s'ordonnent pas en cycle, et aucune tendance n'a affecté les cent vingt dernières années.

La variabilité temporelle des éléments pluviométriques est souvent exagérée en Méditerranée; elle existe certes, mais à l'échelle de l'année des accidents

aussi intenses et aussi fréquents troublent l'Aquitaine. Cependant à l'échelle mensuelle, la variabilité s'accroît fortement en Méditerranée, et des compensations s'effectuent.

Les séries de longueurs inégales ne permettent pas de classer les indicateurs d'après leur variabilité temporelle; il semble cependant que les durées sont encore les plus régulières, tandis que les paroxysmes sont les plus capricieux dans le temps. Cette loi devra être vérifiée plus soigneusement sur des séries plus longues.

Les variabilités temporelles ont une distribution spatiale souvent originale; en Aquitaine, les différences sont peu nettes, sauf pour la variabilité des hauteurs, mais n'est-ce pas dû au grand nombre de stations étudiées ? Pour les autres paramètres les nuances régionales sont peu sensibles, excepté les fortes intensités réelles. En Méditerranée, très souvent la variabilité diminue d'ouest en est, indépendamment des régimes moyens.

De nombreuses autres lois secondaires, parsemées dans les différents chapitres, ne peuvent pas être répétées; cependant, à l'échelle des deux Midis, les relations entre les éléments de la pluviosité sont inexistantes ou ne relèvent que de compensations. De même, les différents régimes ne sont pas corrélés. Cette absence de lois de composition oblige le géographe à utiliser l'indicateur pluviométrique adapté au problème spécifique qu'il traite.

TRAITS ORIGINAUX DES DIFFERENTES PROVINCES PLUVIOMETRIQUES

Le pays basque

L'originalité de la province basque apparaît mal sur les cartes obtenues par traitement automatique car

le régime des hauteurs est identique à celui des stations plus septentrionales. Tout au plus, faut-il relever le régain pluvieux dès le mois d'août, tandis qu'au nord sur la côte d'Argent, ces averses sont moins copieuses; ainsi, septembre plus arrosé que janvier témoigne d'une inversion par rapport au régime bordelais.

D'autre part, si les jours pluvieux y sont plus nombreux, en durée réelle cette extrémité du sud-ouest n'est pas défavorisée. Cependant, le régime des durées avec un double maximum d'hiver puis de printemps est différent du régime simple observé plus au nord.

Les hauteurs mensuelles et annuelles très élevées ont donc pour origine des averses de forte intensité. La province basque s'apparente à la Méditerranée par la brutalité des chutes; cette règle, vérifiée pour les pluies journalières et les intensités réelles, caractérise aussi les paroxysmes. Ils peuvent être assez longs comme dans toute l'Aquitaine, mais surtout ils sont très fréquents comme en Méditerranée.

Les différentes variabilités, relativement faibles, sont fortes en valeur absolue; ainsi par exemple, l'écart-type des hauteurs de décembre est plus grand à Biarritz que dans n'importe quelle station méditerranéenne. Le pays basque est donc très arrosé par des averses violentes très irrégulières.

Dernière caractéristique, les lois de compositions, entre les différents caractères et entre les régimes, sont le plus souvent vérifiées. Peut-être ce fait est-il simplement d'ordre statistique : la variabilité intermensuelle étant plus grande quel que soit le paramètre, les classements obtenus sont très proches, et donc des corrélations sont obtenues.

Le littoral atlantique

L'Aquitaine océanique ne semble pas très originale, les hauteurs étant plus médiocres qu'en pays basque.

Les principales caractéristiques concernent les durées. Premièrement, les longues séquences de plusieurs jours sont plus nombreuses et plus fréquentes que dans l'intérieur. Cette loi est particulièrement nette en été. D'autre part, contrairement au régime des hauteurs, le régime des durées est simple; le maximum secondaire de printemps disparaît (Fig 7.1). Cet effacement est-il le résultat de compensations interannuelles ou une réalité ? La brièveté des séries - 18 ans - empêche de formuler une conclusion définitive.

La grande originalité de ce littoral, demeure le déroulement saccadé des averses comme les rouleaux de l'océan sur les plages. Nulle part ailleurs dans les Midis, cette structure rubanée des pluies n'atteint une telle perfection. La théorie de fronts successifs liés au système des brises, quelle que soit sa valeur, semble être confirmée par les faits. D'après cette théorie des fronts naissent en liaison avec les mécanismes des brises; ils s'enfoncent ensuite vers l'intérieur puis s'effacent; impuissants à provoquer des pluies, ils peuvent cependant être à l'origine du rythme des averses.

L'Aquitaine intérieure

L'Aquitaine centrale est un des trois pôles de sécheresse des Midis. La complexité des différents régimes, maximum, entraîne l'absence de lois de composition. Ainsi pour les hauteurs, les pluies de saison froide ne persistent pas au-delà de janvier, et ne commencent qu'en novembre, octobre étant relativement sec; si le trimestre février-avril constitue une véritable saison, les deux bimestres de mai-juin et août-septembre humides, notamment le premier, encadrent juillet très sec. Au total se distinguent six saisons pluviométriques en toulousain.

D'autre part, l'originalité de cette province est lisible pour chaque paramètre. Les durées réelles ne sont pas relativement plus faibles, mais les séquences pluvieuses sont plus brèves. Les pluies durables sont les plus variables, non seulement en valeur relative, mais aussi en valeur absolue, observation unique dans l'ensemble des Midis. En outre, les chutes sont peu copieuses; les fortes intensités sont rares et les paroxysmes accidentels. L'effet continental est marqué par l'affaiblissement des intensités, sauf en mai-juin. Enfin, les fortes pluies, exceptionnelles, sont aussi très irrégulières dans le temps.

Le Roussillon

Le Roussillon et ses annexes est la province des extrêmes. Les classes extrêmes des durées ou intensités sont toujours sureprésentées par rapport aux autres régions. Les pluies brèves sont les plus fréquentes; mais les averses durables sont aussi relativement nombreuses; de même crachins et paroxysmes s'observent fréquemment. Cette forte représentation des extrêmes explique des anomalies; ainsi, la durée annuelle des pluies est aussi élevée à Perpignan qu'à Nice, bien que les hauteurs soient très différentes. Seule exception à la règle, les paroxysmes sont eux de durée moyenne.

Le régime des hauteurs présente des caractères spécifiques; la saison des pluies débute très tôt en septembre et se prolonge en janvier; le minimum relatif de janvier-février apparaît donc mal. La seconde saison pluvieuse dure longtemps de mars à mai; la durée des pluies printanière est particulièrement grande. Par contre la sécheresse estivale très prononcée est très méditerranéenne.

Troisième caractère, les variabilités spatiales et temporelles sont maxima. La forte variabilité spatiale apparaît clairement sur la figure 3.3 où les régions

pluviométriques sont très peu étendues. La variabilité temporelle relative est toujours plus forte dans cette province; cette règle à l'échelle annuelle et mensuelle est valable pour tous les indicateurs.

Le delta rhodanien

Le delta du Rhône, troisième province sèche, présente des caractéristiques pluviométriques différentes. Au-delà du troisième quartile, les différentes classes sont mal représentées. Comme en Roussillon, les pluies brèves et de faible intensité sont dominantes, mais les chutes copieuses et durables sont absentes. La médiocrité des totaux annuels, moins de 550 mm a une double origine : la médiocrité des intensités et la brièveté des précipitations.

Le régime des hauteurs est différent; septembre, mal rattaché à la saison pluvieuse, est un mois de transition. En janvier, un minimum relatif se creuse et déborde sur février. Le régime méditerranéen classique s'accuse donc par rapport au Roussillon.

Les variabilités relatives, toujours très fortes, notamment pour les hauteurs et les paroxysmes, sont cependant moins élevées qu'en Roussillon.

La côte d'Azur

A l'est des Maures, la côte d'Azur est une province très arrosée, 800 mm et plus en moyenne. Elle offre de nombreuses ressemblances avec le Roussillon; les pluies durables ne sont pas absentes et des paroxysmes brutaux mais plus brefs, sont assez fréquents. Le faible nombre de jours pluvieux constitue un caractère original. Les hauteurs élevées ont donc pour origine des chutes copieuses.

Les variabilités relatives sont faibles, car les variabilités absolues ne sont pas spécialement accusées.

Plus importante que la variabilité temporelle apparaît le morcellement spatial. Telle chute record à l'est du Var donne moins de 5 mm à l'ouest. A Nice, un écart annuel moyen de 150 mm est observé entre deux pluviomètres de front de mer.

Le régime des hauteurs est typiquement méditerranéen; septembre, mois sec, prolonge un été très déficitaire. La saison pluvieuse est limitée au trimestre octobre-décembre; en janvier-février la sécheresse relative, intense pour les hauteurs, apparaît assez mal pour les durées. A la fin de l'hiver des pluies durables de très faible intensité sont fréquentes. Les averses printanières sont aussi relativement longues, mais peu intenses, sauf au début du mois de mai; pendant la dernière quinzaine de mai, la sécheresse estivale apparaît. Comme dans les autres provinces, ce schéma général peut être plus ou moins décalé suivant les années.

Le bas Languedoc et le Var constituent des régions de transition, leurs caractères sont étudiés dans le chapitre quatorze. D'autre part, toutes les lois ne sont pas rappelées dans cette conclusion partielle, seuls les principaux traits spatiaux ont été résumés.

T R O I S I E M E P A R T I E

LES MECANISMES PLUVIOMETRIQUES

ETUDE ELEMENTAIRE

C H A P I T R E S E P T

LES MECANISMES GENERAUX

Les caractères généraux des grands centres d'action sont connus, mais des lacunes importantes subsistent, par exemple, leur variation d'intensité et surtout leur déplacement. Les variations saisonnières sont schématiques et les modèles de déplacement proposés par divers auteurs, comme celui de G. Viers, ne sont pas démontrés (1).

Les cartes météorologiques schématisent la distribution réelle des pressions effaçant de nombreux centres régionaux et locaux, par le lissage des isobares. Au colloque de Rome, tous les participants ont insisté sur l'apport des méso-analyses en traçant les isobares de millibar en millibar, et ont conclu à l'inadaptation des techniques de prévision classique pour l'aire méditerranéenne, inadaptation qui demeure pour le domaine aquitain (2).

Ces remarques recommandent l'étude des centres régionaux et locaux, à l'aide de cartes tracées dans les centres régionaux. Ces documents rapidement jetés, toute analyse fréquentielle est impossible, et la technique pointilliste malgré ses lacunes est obligatoire.

La connaissance du complexe géographique se heurte à des difficultés similaires, et à l'échelle régionale bien des lacunes demeurent. L'exemple du contact terre-mer est démonstratif; à l'aide des cartes topographiques on peut sans grande difficulté décrire le contact physique et ses conséquences, mais le bilan thermique est

(1) G. Viers, *Eléments de climatologie* (80).

(2) Blecker (edit), *The UNESCO/WMO seminar on mediterranean synoptic meteorology* (78).

encore rarement abordé, faute de données suffisantes.

D'autre part, le défaut classique, l'absence de preuve même sur des sujets simples, constitue un handicap. Depuis longtemps, Gaussen et d'autres auteurs pensent que l'orientation des reliefs, la position des stations par rapport aux flux est plus importante que l'altitude pour les variations spatiales de la pluviosité sur les Pyrénées. Cette hypothèse, sans doute exacte pour l'ensemble des montagnes méridionales, est vérifiée par l'analyse de corrélation canonique. Pour toutes les stations deux ensembles de variables sont distinguées, les douze moyennes mensuelles puis l'ensemble latitude, longitude et altitude. Le rôle spécifique de l'altitude est ainsi démontré pour chaque mois.

7-1 LES CENTRES D'ACTION GENERAUX

7-1-1 LES ANTICYCLONES

7-1-1-1 L'anticyclone des Açores

L'anticyclone des Açores, hautes pressions subtropicales, est un des piliers les plus permanents de la circulation générale, même si "on a toutefois exagéré son importance" (3). De nombreux auteurs, notamment P. Pagney et A. Huetz de Lempis ont montré que la position de cet anticyclone n'est pas constante, spécialement en hiver : "l'anticyclone indiqué par la carte des moyennes sur Madère est donc très instable et la fréquence de l'alizé est à peine supérieure à 50 % en janvier" (4). Les cartes du 31 décembre 1954 au 2 janvier 1955 montrent un exemple de situation "anormale" sans anticyclone.

(3) P. Pedelaborde, Introduction à l'étude scientifique du climat (61).

(4) A. Huetz de Lempis, Le climat des îles Canaries (55)
P. Pagney, Le climat des Antilles (58).

En relation avec ses mécanismes de formation, la structure de cet anticyclone est complexe, et il ne peut pas être totalement assimilé à un laboratoire où se forment des masses d'air tropicales maritimes subsidentes. Très souvent, en toutes saisons, il se prolonge par une apophyse ou dorsale septentrionale, qui pose de nombreux problèmes.

Deux types de dorsales sont distincts; les premiers correspondent à une descente froide post-cyclonique peu violente; d'origine thermique, ils sont pelli- culaires; en altitude, la configuration est généralement dépressionnaire, car la baisse de pression est plus rapide dans l'air froid. Quand les coulées froides sont violentes, dirigées par une dépression islandaise très marquée, l'anticyclone des Açores est partiellement détruit sur sa façade orientale. Il faut donc opposer les advections "faibles" et les coulées intenses qui provoquent une inversion du système des pressions en surface.

Un second type de dorsale correspond à l'extension de l'anticyclone lui-même, déformé par les flux d'ouest; ces dorsales d'origine dynamique, donc épaisses se développent dans toute la troposphère, et il est rare qu'un front froid s'insinue entre le centre principal et l'apophyse. Par évolution lente des types mixtes peuvent s'établir. L'opposition structurelle entre les deux types de dorsales constitue un fait majeur. Des situations plus complexes apparaissent, car l'axe de ces dorsales se décale souvent en altitude.

Les dorsales dynamiques sont sans doute assez rares d'après les travaux de Baur repris par P. Pedelaborde. Inversement, les apophyses polaires, plus ou moins soudées, sont plus fréquentes. En fait, les situations décrites par Baur sont à l'échelle européenne et leurs conséquences climatiques sont décrites en Europe cen-

trale (5). Les dorsales à l'échelle des Midis sont en réalité plus nombreuses.

Cette cellule se déplace, déplacements qui accompagnent l'extension ou le retrait de la masse anticyclonique. L'anticyclone des Açores est animé de mouvements complexes à deux composantes principales, zonale et méridienne. Pendant les déplacements zonaux, d'ouest en est, ou cas plus rare, d'est en ouest, trois types de positions sont fréquents :

- Très souvent, l'anticyclone est centré sur l'Atlantique oriental, au sud-ouest du Portugal en hiver, et au large des côtes françaises en été (semaine du 13 au 20 octobre 1951). A cette position, correspondent deux types de situation, un allongement nord-sud de l'anticyclone, particulièrement en été, et un allongement ouest-est en toutes saisons. Ces règles ne sont pas absolues; en janvier 1959, au cours de la première semaine, le noyau anticyclonique est orienté ouest-est, mais à la fin du mois s'établit une situation méridienne. Parfois, comme en janvier 1951, du 1er au 3, la cellule anticyclonique demeure sur l'Atlantique, mais une dorsale s'étend sur l'Espagne, le sud-ouest et parfois même le sud-est de la France. L'anticyclone peut être centré sur l'Atlantique central, et il affecte alors rarement les Midis (épisode du 1er au 4 avril 1952), ou rejeté très loin au sud (16-23 février 1951).

- Le second type correspond à une position plus continentale; les hautes pressions subtropicales sont installées sur la péninsule ibérique ou la France occidentale suivant les saisons; aucune position caractéristique n'est bien nette, mais cette situation est moins stable; en janvier 1951, ce schéma est observé pendant trois jours seulement, du 4 au 6.

(5) J. Bluthgen, Allgemeine klimageographie (38).

- Le troisième type est le moins fréquent. Le déplacement des hautes pressions se poursuit vers l'est et elles s'installent entre le Maghreb et l'Allemagne méridionale. En janvier 1951, du 4 au 9, le coeur de l'anticyclone remonte des Açores aux Balkans, prenant en écharpe la Méditerranée occidentale. Cette troisième situation typique est peu fréquente car en atteignant le continent par l'Espagne, l'anticyclone est souvent animé d'un mouvement inverse vers l'Atlantique. En reprenant l'exemple de janvier 1959, ce mouvement de bascule s'établit pendant toute la première quinzaine; au cours de la troisième semaine seulement, le déplacement initial vers l'est se poursuit, et les hautes pressions stagnent sur la Méditerranée centrale.

Dans ce troisième type les hautes pressions se subdivisent en plusieurs noyaux dont un remonte, généralement vers le nord-est; il se transforme sous l'effet du rayonnement et se stabilise sur le continent. Cette "désintégration" donne plusieurs centres moins vastes, de taille égale aux basses pressions plus mobiles. La mobilité a pour corollaire un rétrécissement spatial des centres d'action; entre eux, des couloirs dépressionnaires peuvent diriger des courants perturbés. En outre, il se forme alors une dépression plus ou moins creusée sur les Açores, centre dépressionnaire fréquent en hiver, qui évolue souvent sur place, entre les divers noyaux anticycloniques européens et africains et l'anticyclone atlantique qui s'étend à l'est; ainsi, entre le 18 et 20 janvier 1959, une dépression très profonde au niveau des Açores est rapidement comblée.

Les déplacements méridiens sont aussi complexes; rien n'est plus faux que de croire à une lente évolution nord-sud en hiver, et sud-nord en été. Certes, la tendance générale est bien orientée dans ce sens, mais

elle est irrégulière. En janvier 1959, l'évolution générale est nord-sud, mais on relève cinq exceptions; ces irrégularités sont encore plus nettes pendant les saisons intermédiaires. D'autre part, même quand aucune tendance inverse ne les trouble, les mouvements méridiens sont toujours saccadés.

En tenant compte des deux caractères, situation précise du centre de l'anticyclone et orientation de cet anticyclone, six types de situations se dégagent :

- Açores, orientation zonale;
- Açores, orientation méridienne;
- Açores, orientation oblique;
- Continent, orientation zonale;
- Continent, orientation méridienne;
- Continent, orientation oblique.

Sur cinq années analysées, dans plus de 75 % des cas, cette cellule est installée sur l'océan, surtout en été. D'autre part, les situations méridiennes sont plus rares que les situations zonales et obliques, surtout quand l'anticyclone est installé sur l'océan. Au contraire, lors des poussées vers l'est, les types obliques, et surtout méridiens, sont plus fréquents.

7-1-1-2 Les anticyclones continentaux

Les anticyclones septentrionaux de Scandinavie et d'Europe centrale, cellules pelliculaires d'origine thermique, ne constituent pas des barrières infranchissables, d'autant plus que sur les Midis parviennent des pellicules d'air très amincies, surmontées par de basses pressions.

- Outre cette structure verticale originale, les fréquences de débordement sur les espaces méridionaux sont très faibles : février 1956 est bien un cas exceptionnel. Plus souvent, un col relie ces cellules continentales et les hautes pressions des Açores; ainsi,

pendant la première semaine de mars 1951. A la fin de ce même mois, une nouvelle barrière méridienne plus ou moins fermée s'étend des Açores au Groenland. Dans les cols s'insinuent des fronts froids sur lesquels naissent des perturbations secondaires.

- Ces flux froids anticycloniques sont peu fréquents, mais aussi très irréguliers dans le temps. Sauf les cellules balkaniques, ces hautes pressions agissent par spasmes brefs, qui correspondent à des renforcements de pressions. Les Midis sont atteints seulement par ces poussées marginales.

7-1-2 LE ROLE DES ANTICYCLONES

L'anticyclone des Açores est d'origine dynamique, même si des effets thermiques secondaires interviennent, comme la présence de courant froid. Son rôle d'abri est tyrannique quand il surmonte les Midis, la subsidence régnant à tous les niveaux. En réalité ceci n'est pas parfaitement exact, car "on montrerait qu'un centre anticyclonique se décale en altitude vers les hautes températures moyennes" (6) et des hautes pressions en surface sont parfois surmontées par des flux dépressionnaires en altitude.

En hiver, le décalage vers le sud de cette cellule dynamique laisse passer des courants perturbés; le mois de janvier 1955 en est un exemple; l'anticyclone des Açores ne s'étend pas sur les Midis et les précipitations sont très abondantes, plus de vingt jours de pluie à Biarritz et quatorze à Nice; les totaux mensuels sont nettement supérieurs à la normale, 636 mm au Vigan (Gard). Inversement, au mois d'avril suivant, l'anticyclone dynamique remonte brutalement vers le nord, et la "sécheresse" sévit sur l'ensemble des Midis.

(6) J. P. Triplet, G. Roche, Météorologie générale (77)

Si certaines anomalies s'expliquent par les pulsations de cette cellule, le problème majeur des précipitations estivales, plus abondantes en Aquitaine, demeure. La répartition spatiale des pluies, en été, est inverse à celle des pressions; l'Aquitaine est plus arrosée malgré la proximité des hautes pressions qui mordent parfois sur le continent, comme du 23 au 25 juillet 1957 ou du 19 au 22 août de la même année. Cette anomalie est très surprenante car règne, en été, sur la Méditerranée occidentale, une zone de marais barométrique favorable aux orages : "Il ne s'agit pas d'ailleurs, ainsi qu'on l'a trop souvent écrit, de l'arrivée du maximum des Açores, mais bien plus du régime de marais barométrique, avec des pressions au niveau de la mer qui n'excèdent pas 760 à 762 mm de mercure et demeurent inférieures aux pressions moyennes de l'hiver ou même de l'automne" (7).

Pour rendre compte de cette anomalie, de nombreuses hypothèses ont été proposées. Selon P. Birot "un peu de continentalité accentue la sécheresse estivale et beaucoup de continentalité la supprime" (8); P. Pedelaborde fait intervenir les courants frais de nord-ouest, et chauds de sud-ouest du front atlantico-méditerranéen (9); G. Viers met en avant les descentes froides sur la face orientale de l'anticyclone des Açores rejeté sur l'Atlantique (10), remarques faites pour l'été pourri de 1963, valables aussi en juillet 1955 quand des totaux supérieurs à la normale sont relevés sur le littoral atlantique, mais situation nullement observée en août 1950, malgré la dissymétrie pluviométrique.

(7) P. Carrière, Le climat pluviométrique de la Cevenne (94).

(8) P. Birot, La Méditerranée et le Moyen-Orient (89).

(9) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

(10) G. Viers, Le triste été de 1963 dans les Pyrénées occidentales et centrales (121).

trique caractéristique.

D'autres hypothèses peuvent être émises; en altitude, des crêtes protectrices centrées sur la Méditerranée, succèdent à un talweg axé sur l'Aquitaine. D'autre part, les dorsales estivales sur l'Aquitaine, peu épaisses, provoquent une ascendance forcée des courants perturbés. Enfin des facteurs géographiques, autres que la continentalité interviennent, et expliquent cette opposition pluviométrique.

Toutes ces hypothèses à vérifier peuvent se compléter, car le schéma classique de l'abri aérologique dû au maximum des Açores aboutit au paradoxe d'un été aquitain arrosé, malgré l'influence des hautes pressions, facteur de sécheresse. En fait, ceci prouve la complexité des cellules anticycloniques représentées trop simplement sur les BQE. Cette complexité affecte les dimensions horizontales et verticales de ce centre.

Les anticyclones septentrionaux superficiels, peuvent être surmontés par les courants perturbés car l'obstacle n'est pas infranchissable. En effet, la pression baisse plus rapidement dans l'air froid, et des basses pressions se forment en altitude.

Parfois la barrière est suffisamment efficace pour détourner les courants perturbés; un courant principal circule sur le flanc nord des hautes pressions, mais un front polaire dérivé s'insinue vers le sud. Sur cette discontinuité des fronts froids circulent et sont happés par les dépressions méditerranéennes, même si ces centres d'action sont considérés "aussi bien comme des dépressions frontales aspiratrices que comme des dépressions dynamiques construites" (11).

Ces anticyclones dirigent sur leur face orientale et méridionale des advections froides, un des détonneurs de précipitations, soit qu'elles s'insinuent sous

(11) P. Pagney, La climatologie (57).

l'air chaud, soit qu'elles le surmontent. Les invasions surplombantes ainsi créées sont génératrices de violentes pluies quand l'air chaud inférieur est très riche en vapeur d'eau.

Ces advections froides ont été cataloguées par Bluthgen pour l'ensemble de l'Europe (12). Il distingue six grandes familles de poussées froides :

- 1 - les attaques d'air de nord-est
- 2 - les poussées en Europe centrale
- 3 = 5 - les poussées d'air scandinave (types 3 et 5, anticyclonique et cyclonique)
- 4 - les advections de nord-ouest cycloniques
- 6 - les advections de sud-est.

Bien que ce dernier type soit rare sur les domaines méditerranéens, sauf en prenant une composante d'est, cette typologie peut être retenue.

Les advections froides anticycloniques, les types 1, 2, 3 et 6, s'opposent aux poussées cycloniques essentiellement de nord-ouest. Les advections anticycloniques très froides, circulent sur le continent, et leur teneur en vapeur d'eau est faible. Elles apportent peu de pluie, mais peuvent provoquer des averses brutales, parfois neigeuses par contact avec l'air chaud. Ces situations, typiques en hiver et pendant les premiers mois printaniers, s'effacent en été, les anticyclones thermiques ayant disparu.

Les coulées cycloniques de nord-ouest sont souvent moins froides, et au cours de leur trajet maritime, elles emmagasinent de la vapeur d'eau sur la dérive nord-atlantique. Ces advections humides donnent des averses internes à ces masses d'air animées d'un mouvement cyclonique. En fait, s'opposent les advections épaisses, et les décharges post-cycloniques où l'effet de subsidence joue en sens contraire de la configuration cyclo-

(12) J. Bluthgen, Allgemeine klimageographie (38)

nique de l'advection froide. Ces coulées froides cycloniques et post-cycloniques de nord-ouest se produisent en toute saison; elles parviennent plus ou moins dénaturées sur les Midis, éloignés des centres d'origine.

Les anticyclones thermiques sont souvent un facteur de blocage. Certes, ils peuvent être surmontés par les courants perturbés, mais un courant d'altitude rapide possédant un fort pouvoir de "steering" est nécessaire; la majorité des courants perturbés qui ne heurtent pas de front ces anticyclones thermiques, tendent à les contourner, ou stagnent contre ces masses froides. Ceci est vérifié souvent pour les anticyclones d'Europe centrale et des Balkans, expliquant les longues séquences pluvieuses du littoral méditerranéen. Ce blocage est renforcé par la chaîne alpine, souvent surmontée d'un môle froid, par exemple du 9 au 13 février 1954.

L'anticyclone des Açores a donc un rôle d'abri par sa position et sa structure, et il constitue un facteur de sécheresse tempéré par les dorsales qui le prolongent. Les hautes pressions thermiques sur les marges des Midis, détournent les courants perturbés ou les bloquent, et dirigent des flux froid souvent peu épais car marginaux; ils constituent toujours un facteur de pluviosité sur les Midis.

7-1-3 LES DEPRESSIONS

Les centres de basse pression sont plus directement liés à la pluviosité car ils forment des aires de convergence et d'ascendance en surface, dans lesquelles circulent ou stagnent les perturbations. Ces perturbations sont à l'origine des précipitations, d'après le modèle norvégien classique proposé par Bjerknes.

Les dépressions atlantiques, des mers du nord et de la Baltique seraient creusées par le passage répété

des perturbations, donc d'origine dynamique; en hiver, elles sont plus creusées et plus fréquentes grâce à l'apport d'énergie thermique fourni par le Gulf Stream et la dérive nord-atlantique (13).

La dépression d'Islande, centre majeur pour l'Europe occidentale, est aussi purement dynamique selon la théorie de Rossby; d'autre part, la masse du Groenland forme un barrage aux flux d'ouest, et sous le vent de cet obstacle peut naître le minimum d'Islande qui appartient donc aussi au groupe des Lee dépressions selon la terminologie anglaise; l'effet thermique accentue la baisse de pression particulièrement à la fin de l'hiver. Ces trois facteurs agissent en phase, ou sans ordre, notamment quand stagne non pas un seul centre dépressionnaire, mais un vaste golfe avec plusieurs noyaux secondaires.

Le minimum des Açores est sans doute peu fréquent, sinon peu actif. C'est un centre difficile à classer : n'est-il pas simplement une cellule régionale ? Plusieurs mécanismes interviennent dans sa formation; premièrement les coulées froides issues du Groenland et des régions voisines, qui atteignent ces latitudes, soulèvent l'air chaud et provoquent une ascendance; dans ce cas la dépression n'apparaît pas en surface, l'air froid étant plus dense. En outre, selon la théorie de la barrière, une invasion polaire ou arctique, traversant la zone des vents d'ouest dominants, provoque la formation d'une dépression sur la face orientale de cette invasion. La dépression des Açores visible le 1er mars 1959 correspond à ce schéma : la coulée froide est centrée sur le 30 ème méridien comme le montre la carte 500 mb, et la dépression située au large du Portugal est bien sur la face orientale de cette invasion froide.

(13) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

Cet effet de barrière peut apparaître indépendamment des advections froides. Soit l'exemple du 3 mars 1959; une dépression se creuse au large de la côte marocaine; elle n'est pas due à une coulée froide, l'alimentation polaire qui existait deux jours auparavant est interrompue, et la dépression correspondante s'est comblée; il est impossible d'invoquer une invasion froide, mais cette dépression se développe sur la face orientale de l'anticyclone des Açores rejeté à l'ouest; en outre, un talweg en altitude détermine un effet de résonnance.

Parfois ce centre est une dépression septentrionale qui migre vers le sud, quand le minimum d'Islande se comble et se désagrège en plusieurs petites cellules animées d'une grande vitesse de translation; ainsi, au cours de la première semaine de janvier 1955, le minimum qui stagne au large du détroit de Gibraltar est une cellule de l'ensemble dépressionnaire qui s'étend du Groenland au Maroc.

Comme le minimum des Açores, la dépression des Baléares correspond à différentes origines. Elle peut naître dans une autre région, par exemple au large du détroit de Gibraltar, puis entrer en Méditerranée, mais ce type est rare d'après les auteurs de "Weather in the Mediterranean". En fait, très souvent, elle est d'origine hydrodynamique, formée sous le vent des reliefs. Ceci se produit par circulation zonale d'ouest; les plateaux ibériques et les chaînes constituent une barrière suffisante. Plus souvent, le flux n'est pas zonal mais méridien de nord, quand l'anticyclone des Açores ou son prolongement septentrional mord sur l'Aquitaine et l'Espagne; le flux de nord ne circule pas sur l'Atlantique, mais sur la France occidentale et l'obstacle majeur devient la chaîne pyrénéenne et le rebord cévenole. La position du minimum varie alors entre les Baléares et le golfe du Lion, ainsi le 9 septembre 1938.

Dans cet exemple précis, la dépression bloquée sur le Languedoc par un anticyclone oriental demeure sur place. Les 6 et 7 janvier 1953, un creusement de type identique se produit au niveau du golfe du Lion, mais la dépression est entraînée par le flux d'altitude vers la Corse et la Sardaigne. Dans ces cas méridiens, l'air froid soulève l'air chaud et accentue l'ascendance, qui varie suivant l'épaisseur de la masse d'air.

La dépression du golfe de Gênes a aussi une origine complexe; les facteurs principaux sont le relief, les advections froides, l'instabilité des masses d'air, les bilans énergétiques terre-mer et air-mer, auxquels s'ajoutent des caractères secondaires, comme le tracé du littoral. L'effet de relief est simple : "Sous la face sous le vent d'une chaîne de montagne importante, un flux cyclonique peut se former car l'air gagne plus de "vorticity" cyclonique pendant sa descente qu'il en a perdu au cours de son ascension" (14).

Les advections froides sont un second facteur favorable décrit par H. Isnard et P. Pedelaborde (15). Ce dernier accorde beaucoup d'importance aux fronts froids de nord-ouest qui s'incurvent vers la Méditerranée, et le modèle proposé est typiquement norvégien. Les analyses de H. Isnard sont plus précises et nous reproduisons l'exemple du 14 février 1965 : "Un anticyclone relativement puissant (1035 mb) s'allonge de l'Islande au Maroc, une aire dépressionnaire couvre la Baltique et la Finlande; à leur contact, un flux d'air arctique maritime coule vers l'Europe occidentale; son front froid atteint les Alpes : deux légères dépressions apparaissent sur le golfe de Gênes et le nord de l'Adriatique;

(14) EC. Barrett, Viewing weather from space (31)

(15) P. Pedelaborde, Introduction à l'étude scientifique du climat (61)

H. Isnard, Note sur les dépressions liguriennes d'hiver. Méditerranée (108).

un léger mistral s'est levé. A 18 h TU les deux dépressions ont fusionné en une seule (1005 mb), qui se met en marche vers le sud-est". Dans ce schéma l'auteur s'écarte déjà du modèle norvégien.

Les météorologues italiens, notamment Montalto et Baroni (16) distinguent trois types de dépressions liguriennes. Le centre dépressionnaire se forme sur un front froid; type identique à celui décrit par Pedelaborde, il obéit au modèle norvégien. La présence de front n'est pas obligatoire; si l'air froid est peu épais il s'échappe par des cols et des trouées comme le couloir rhodanien, et la dépression se forme en surface, par soulèvement de l'air chaud. Le minimum apparu essentiellement en surface, demeure peu creusé. Si une zone de convergence s'installe sur les Alpes, elle favorise la propagation en altitude du minimum formé au sol. Dans le troisième type, la formation de la dépression est commandée par la situation en altitude, notamment la stagnation d'un talweg ou d'une goutte froide. On observe alors un effet de résonnance étudié par des modèles réduits théoriques; comme le second type, cette situation n'obéit pas au schéma norvégien classique.

La présence de fronts froids n'est donc pas obligatoire, et le caractère induit de ces dépressions n'est pas général, par exemple le 23 mai 1953 quand un anticyclone stagne sur toute l'Europe. L'effet dynamique du relief et du tracé du littoral sont des caractères fixes importants. La trajectoire des advections froides, la stabilité des masses d'air, la présence de fronts, le bilan thermique particulièrement favorable en hiver et au début de printemps, sont des éléments de diversité.

D'autres cellules dépressionnaires peuvent atteindre les Midis, mais elles sont rares, parfois même

- (16) Montalto et Baroni, Un esempio di circolazione autunnale sull'Europa con ciclogenese orografica sotto vento alle Alpi (112).

exceptionnelles, comme celle de février 1972 que nous avons étudié en détail (17). La remontée d'un vortex chaud, "tiré" par le jet en altitude, provoque une violente tempête avec des pluies catastrophiques et des vents violents sur la côte-d'Azur. Ces dépressions qualifiées de sahariennes, très rares, correspondent à des mécanismes méridiens et obéissent assez mal au modèle norvégien classique.

Les dépressions atlantiques et islandaises correspondent à des mécanismes zonaux, mais les minima des Açores, des Baléares et du golfe de Gênes se développent généralement par circulation méridienne. Les premières peuvent affecter l'Aquitaine et les secondes sont à l'origine des pluies sur les rivages méditerranéens.

7-1-4 CARACTERES ET ROLE DES DEPRESSIONS

Les dépressions septentrionales, souvent très vastes, mordent sur l'ensemble de la France occidentale, parfois même de l'Europe océanique, comme en témoigne l'exemple du 8 avril 1959; la dépression, centrée à l'est de l'Ecosse, s'étend des Pyrénées au nord de la Scandinavie. Cette caractéristique est plus spécifique de l'hiver. Au contraire, les minima méridionaux, sauf exception, sont de taille plus modeste. Les dépressions des Açores et des Baléares, éphémères, ont une superficie réduite, seule la cellule ligurienne atteint parfois des proportions plus considérables, par exemple le 30 avril 1959.

Les centres septentrionaux peuvent être très profondément creusés et atteindre des pressions inférieures à 990 mb. Les noyaux méridionaux ont une intensité plus faible, sauf certaines dépressions des Açores, prolongement d'un centre septentional. Parfois, le

(17) A. Dauphiné, Une tempête "saharienne" sur la côte-d'Azur (96).

minimum du golfe de Gênes est bien creusé, mais la pression est rarement inférieure à 1 000 mb, fait déjà souligné par C. Bordreuil : "Les précipitations à caractère exceptionnel ne sont jamais dans le sud-est l'aboutissement d'un régime vigoureusement perturbé" (18). D'autre part, ces dépressions méridionales, notamment celles qui stagnent sur la Méditerranée, subissent des évolutions diurnes plus grandes que les dépressions septentrionales. Dès 1941, E. Rougetet écrit : "Sur le littoral du sud-est, des côtes de Provence à la côte-d'Azur, cette variation (diurne) est l'élément de base de la climatologie de ces régions notamment au printemps et en été car ce sont les saisons où les différences thermiques terre-eau sont les plus marquées" (19). Quelles que soient les réserves à émettre sur l'ensemble de la citation, la variation diurne des centres dépressionnaires est un fait acquis.

Le déplacement des dépressions est un dernier caractère. La carte présentée par les auteurs de "Weather in the Mediterranean" est très incomplète, sinon totalement erronée. Les dépressions atlantiques septentrionales traversent l'Aquitaine et franchissent le seuil de Naurouze, ou s'emprisonnent dans le golfe de Gascogne.

Les dépressions des Açores peuvent remonter vers le nord, dans le golfe de Gascogne (1), traverser lentement la péninsule ibérique (2) en se comblant, ou entrer en Méditerranée par le détroit de Gibraltar (3). Dans ce dernier cas, le plus rare, elles suivent généralement le littoral africain, en relation avec le mouvement cyclonique des eaux atlantiques qui pénètrent

(18) C. Bordreuil, "Les précipitations des 4 et 5 septembre 1964 dans le Midi méditerranéen" (92)

(19) E. Rougetet, Contribution à l'étude de la climatologie aéronautique de la région du sud-est de la France (117).

en Méditerranée; mais un jet de sud-ouest en altitude peut "tirer" ces dépressions vers les littoraux septentrionaux.

Le minimum des Baléares, quand il a pour origine un flux d'ouest soufflant sur la péninsule ibérique, se déplace assez rapidement vers l'est et mord à peine sur les rivages méditerranéens. Par courant de nord-ouest ou nord, il est entraîné vers le littoral algérien ou tunisien suivant la direction et la force du flux d'altitude. Enfin, il circule parfois sous un flux de sud-ouest et atteint le Languedoc, le bas-Rhône ou le golfe de Gênes, comme la dépression D7 qui provoqua les chutes de neige des 27 et 28 décembre 1970 (20).

Le minimum ligurien suit bien les voies 3a, 3b ou 3c suivant la situation en altitude, mais la concavité des reliefs le bloque souvent dans le golfe de Gênes, et il se déplace par brèves pulsations, des allers et retours sur quelques dizaines de kilomètres. Les mouvements rétrogrades de ce centre, très souvent cités sont en fait très rares; des centres annexes d'origine identique s'étirent sur tout le littoral, et il ne faut pas confondre la trajectoire des dépressions et celle des flux d'est qui circulent sur les faces septentrionales de ce minimum.

Ces caractères entraînent les conclusions partielles suivantes : En Aquitaine, les dépressions septentrionales affectent le climat pluviométrique, notamment en hiver, mais en Méditerranée leur rôle est restreint. Dans le sud-ouest, s'additionnent des averses de situation zonale et de situation méridienne; sur les rivages méditerranéens ces dernières doivent être nettement majoritaires. La différence de taille des centres dépressionnaires explique partiellement le morcellement spatial de la pluviosité sur les rivages méditerranéens;

- (20) S. Dahoui, M. Frasse et P. Quermel, Rigueur des hivers sur le sillon rhodanien et la basse vallée du Rhône (95).

en Aquitaine, outre l'absence de relief, les situations zonales provoquent des précipitations sur des espaces plus étendus. Le golfe de Gascogne qui attire souvent des dépressions de l'étage septentrional et des Açores, est une cause partielle du maximum pluviométrique du pays basque.

7-2 LES COMPLEXES GEOGRAPHIQUES

Les facteurs géographiques importants pour les mécanismes pluviométriques sont au nombre de deux, le relief et le contact terre-mer, contact physique, mais aussi thermique. Comme dans la première partie de ce chapitre, sont rappelées les hypothèses émises, et précisées quelques nuances.

7-2-1 LES GRANDS TRAITS DU RELIEF

Le premier trait d'un relief est son ampleur. Tous les climatologues décrivant la mousson indienne insistent sur le rôle capital de l'Himalaya, sur les déformations saisonnières, brutales du jet stream. De même, les Américains ont montré le rôle des chaînes occidentales sur les flux d'ouest, créatrices d'une courbure anticyclonique, prolongée à l'est par une vallée planétaire. Ces exemples et celui du Groeland sont en relation, sinon à l'origine de la thèse de B. Bolin qui avance les grandes masses montagneuses pour expliquer la formation des ondes dans la circulation générale : "The formation and the waves, appear to be determined by the distribution of continents and oceans and by the large mountains barriers wich are located in middle latitudes" (21). Cette théorie est erronée en ce qui concerne la formation des jets; même si tout n'est pas

(21) B. Bolin, On the influence of the Earth's orography on the general character of the westerlies (39)

parfaitement clair, les expériences sur modèles réduits et l'observation "réaliste" démontrent leur origine dynamique. Par contre, les ondes planétaires sont partiellement, sinon totalement, causées par ces masses montagneuses.

Sur les Midis, seules les Alpes peuvent prétendre contrarier ainsi la circulation générale dans toute la troposphère, mais l'orientation, la taille et l'altitude de cette chaîne sont insuffisantes pour provoquer de tels bouleversements. La crête anticyclonique en hiver, peut être rattachée à cette action perturbatrice, plus l'action du rayonnement qui favorise la constitution de ce dôme froid.

Si les chaînes de montagnes ne créent pas de grandes ondes dynamiques, des ondes à une échelle inférieure se forment dans les flux qui heurtent un relief, vagues plus ou moins développées suivant des facteurs favorables, comme la stabilité des couches inférieures ou l'arrivée d'un front froid. La vitesse des flux, la forme des reliefs, convexe ou concave, introduisent de nombreuses nuances. Ces ondes sont à axe oblique à l'inverse des grandes ondes à axe vertical qui contournent les reliefs.

Actuellement, l'absence de documents précis, de cartes tracées à des échelles convenables, rend impossible l'analyse de ces ondes et leur rôle sur la pluviosité. Pour de nombreux auteurs ces ondes ne sont pas à l'origine même des chutes, mais elles provoquent des fortes variations d'intensité (22).

A une échelle inférieure, l'ampleur des reliefs devient importante. A propos des climats pyrénéens P. Pedelaborde titre "L'influence tyrannique des reliefs", (23) et A. Orieux n'hésite pas à écrire : "Il apparaît en effet que leur importance est primordiale, les Alpes étant un obstacle orographique à l'échelle de

(22) ET. Stringer, Foundations of climatology (99)

(23) P. Pedelaborde, La circulation atmosphérique sur les Pyrénées françaises (62).

la circulation générale" (24). Cette dernière appréciation est exagérée, mais l'effet du relief est indéniable.

A l'échelle des provinces, l'ampleur des reliefs oppose les deux Midis; ordonnés, sinon simples, en Aquitaine, leur ampleur est supérieure aux formes morphologiques méditerranéennes. Malgré des nuances décrites par les morphologues, l'unité du bassin aquitain est saisissante avec au sud le front des Pyrénées et à l'est les plateaux étagés du Massif Central. Sur les rivages méditerranéens, le morcellement est la règle. La plaine effondrée du Roussillon, séparée du Languedoc par les Corbières, est cernée de toute part; la seule "ouverture" fait face à l'est; ce golfe est un piège pour les perturbations causant les durées anormalement fortes. Le Languedoc, ensemble de replats adossés au Massif Central, forme un gradin surmonté par quelques chaîfons, plus ouvert aux différents flux.

La plaine du bas-Rhône, parsemée de chicots isolés dont le plus important est la chaîne des Alpilles, est un vaste entonnoir qui canalise les flux méridiens de nord et de sud, modifiant les caractères des courants et des masses d'air. Soumises à un courant de sud elles se détendent par effet orographique sur la Cèvenne et par effet de convergence dans le sillon rhodanien lui-même, double processus favorable à de fortes pluies.

A l'est de l'étang de Berre, le morcellement du relief est maximum; les plaines littorales sont pratiquement absentes, sauf au débouché de quelques fleuves comme l'Argens et le Var; des montagnes très diversifiées ceinturent la Méditerranée. A l'unité de l'Aquitaine s'oppose donc le désordre des unités structurales méditerranéennes. La très grande variabilité spatiale

(24) A. Orieux, Les retours d'est sur la côte-d'Azur (114)

du fait pluviométrique dans le sud-est s'explique donc partiellement par cet éclatement du relief et par la superficie restreinte des dépressions.

La direction des reliefs est une seconde caractéristique influençant le climat. Le bassin aquitain, ouvert aux flux de nord et d'ouest, est protégé des courants d'est par le Massif Central, et plus encore des régimes dépressionnaires de sud par les Pyrénées. Les rivages méditerranéens, abrités au nord et à l'ouest par les Alpes, la retombée de la Cévenne et les Pyrénées orientales, sont ouverts aux courants de sud et d'est. L'organisation des reliefs est donc antisymétrique par rapport à un axe ouest-est. La direction des reliefs ouvre le sud-ouest aux influences zonales tempérées et polaires qui pénètrent difficilement en Méditerranée, plus exposée aux flux "tropicaux". Ces deux tendances, ne sont pas des lois absolues, car l'isolement orographique n'est jamais total. Les reliefs agissent sur la formation des dépressions dynamiques générales, tel le minimum du golfe de Gênes; ces dépressions peuvent naître au niveau des différentes chaînes.

A une échelle inférieure, des nuances régionales se dessinent. Sur les rivages méditerranéens, les chaînons "jeunes" ou les massifs anciens, comme les Maures, s'allongent d'ouest en est. Seule l'ossature nord-sud du comté de Nice échappe à la règle; les conséquences sont immédiates, comme le montre l'étude succincte sur les "quartiers climatiques à Nice" (25) : l'écart moyen entre les hauteurs annuelles de Nice-Var et celles de Nice-port est supérieur à 150 mm, total considérable, malgré une élévation très modeste du mont-Alban. Les effets de foehn sur les retours d'est sont suffisants pour expliquer cette anomalie. D'autre part, à l'ouest

(25) A. Dauphiné, "Les quartiers climatiques à Nice" (97)

du Rhône, les basses terres sont au contact direct de la mer, mais à l'est elles s'égrènent à l'intérieur, au-delà des Maures et de la Sainte-Baume.

En Aquitaine, à cette échelle, l'orientation ouest-est n'est plus prépondérante, les deux extrémités orientales et occidentales des Pyrénées, morcelées en bassins et en dômes, modifient pour chaque station l'efficacité des situations pluviométriques. Par flux de sud, l'effet d'abri est presque total; le ciel est clair et serein sur Biarritz quand souffle le "mitjourn" ou vent d'Espagne; mais cet abri disparaît par flux de sud-ouest et des pluies importantes peuvent être recueillies sur le littoral basque.

L'influence de la direction des reliefs, s'observe aussi à l'échelle des vallées; les différentes cartes montrent l'exemple des vallées périgourdines et du Quercy, profondément entaillées dans les dalles calcaires, et l'allure digitée des isohyètes à partir du pôle de sécheresse toulousain. Les cartes issues des analyses multidimensionnelles sont aussi caractéristiques, malgré leur schématisation; des identations plus ou moins profondes sinuent dans les vallées de la Garonne et de l'Adour.

Ces barrières, qui exacerbent certains flux perturbés et en estompent d'autres, sont percées par des trouées. Aux deux extrémités des Pyrénées, l'abaissement des massifs et leur morcellement n'interdit pas totalement la pénétration d'influences méridiennes de sud. Les deux percées majeures sont cependant celles du seuil de Naurouze et de l'axe rhodanien. La première permet la pénétration d'influences méditerranéennes en Aquitaine centrale et vice-versa, expliquant les liens qui unissent parfois le toulousain et les plaines de l'Aude. L'exemple du 18 mars 1959 atteste la pénétration d'influences méditerranéennes en Aquitaine; tout

le littoral du sud-est est arrosé, surtout le Roussillon, 40 mm en 24 heures à Perpignan; ces pluies sont liées à une dépression méditerranéenne qui se déplace des Baléares vers la Corse; la remontée d'un flux humide sur sa face orientale provoque quelques averses à Toulouse, et même à Agen en début de période.

Inversement, par ce seuil de Naurouze, circulent les dépressions atlantiques vers la Méditerranée. Cette voie de pénétration, déjà mentionnée par W. J. Van Bebbber (26), est reprise par les auteurs de *Weather in the Mediterranean*. La fréquence accordée par ces auteurs - 3 % - semble faible, mais toutes les dépressions, y compris celles qui naissent ou affectent la Méditerranée orientale sont comptées.

Par la vallée du Rhône, s'écoulent des flux nordiques plus ou moins épais. La forme en entonnoir n'est pas responsable de la subsidence, mais l'accroît et accroît donc la sécheresse par temps de mistral (27). Il peut pleuvoir, même neiger, si l'air froid peu épais est surmonté par un flux perturbé de sud; les chutes de neige qui bloquèrent la circulation automobile du 25 au 31 décembre 1970 correspondent à cette situation. Plus souvent cependant, le flux de nord est plus épais et la subsidence règne à tous les niveaux. Ces coulées froides qui empruntent ce couloir ne sont pas uniquement un facteur de sécheresse; elles peuvent provoquer la naissance de dépression sur leur face orientale, coups de mistral et retours d'est sont en relation étroite. Elles régénèrent aussi les perturbations "usées" qui stagnent en Méditerranée, particulièrement leur front

(26) W.J. Van Bebbber, *Typische Witterungs - Erscheinungen* (79)

(27) Il existe en réalité différents types de mistral aux effets multiples.

froid. Enfin, ces masses subsidentes s'enfoncent en coin sous l'air chaud méditerranéen. Les précipitations sont toujours recensées hors du périmètre rhodanien.

Inversement, ce couloir canalise les remontées d'air chaud et humide de sud; bloquées dans cet entonnoir, elles se soulèvent. Les pluies sont généralisées sur le bas-Rhône, avec des totaux plus élevées sur les rebords montagneux. La répartition des pluies dépend de l'orientation précise des flux perturbés et de la situation d'altitude. Ainsi les 4 et 5 septembre 1964, le maximum enregistré sur la Crau, 142 mm en deux heures, s'explique essentiellement par la présence d'une goutte froide, les régions axées sur le Rhône ne recevant que 30 mm en deux jours.

La forme des reliefs est un troisième caractère dont les effets, mal définis, sont indéniables. A grande échelle, la forme incurvée des Alpes favorise les écoulements latéraux par flux à composante septentrionale, et au contraire les flux méridiens de sud sont emprisonnés dans le golfe Ligure. De nombreux auteurs tel H. Isnard (28) admettent que la forme des Alpes est un facteur important de la formation du minimum ligure.

A une échelle plus fine, de nombreuses études théoriques ont été menées par des chercheurs comme Scorer qui montre l'importance des courants ascendants et subsidents créés par les obstacles montagneux, en fonction de leur disposition par rapport aux flux, et de leur forme. Pour des collines de forme ronde ou ovale, les mouvements peuvent être totalement différents. La règle d'ascendance au vent et de subsidence sous le vent n'est pas générale, comme l'attestent les croquis reproduits par ET. Stringer (29), schémas théoriques

(28) H. Isnard, Note sur les dépressions liguriennes d'hiver (108).

(29) Voir ET. Stringer, Foundations of climatology (74)

qui vont à l'encontre de faits admis, mais rarement étudiés.

La longueur et la pente des versants provoquent des anomalies positives ou négatives. L'exemple du rebord cevenole est significatif; les ascendances de sud sont brutalement renforcées et elles débordent sur l'avant-pays, expliquant les totaux supérieurs au mètre au pied de ce contrefort du Massif Central.

L'étude d'A. Orieux, à l'aide d'observations radars, sur le "pays" de Marignane atteste aussi le rôle de la forme des reliefs : "par situation de nord-ouest faible d'une part, par situation d'est généralisée d'autre part, la plaine de Marignane et l'étang de Berre sont protégés et ils bénéficient de phénomènes atténués en général... Par contre il est certain qu'un régime d'ouest à sud-ouest est favorable à la propagation des cumulonimbus le long de la chaîne de la Nerthe" (30).

L'altitude des reliefs, quatrième facteur, est le plus étudié dans les recherches de climatologie. Dans cette thèse où les climats pluviométriques de montagne ne sont pas analysés, il a une action indirecte. Les pluies augmentent avec l'altitude, loi vérifiée dans les Midis, comme le montre le simple exemple, pris parmi tant d'autres, du maximum pluviométrique sur le bourrelet dunaire atlantique d'élévation très modeste.

Si la variabilité spatiale de cette loi a plus ou moins bien été étudiée, les variations temporelles sont encore obscures. A l'échelle des Midis, l'analyse de corrélation canonique apporte des précisions. De décembre à février, les relations entre hauteur d'eau et altitude sont médiocres, et elles sont encore plus ténues de juillet à novembre, fait surprenant, le caractère orographique des pluies de saison chaude étant souvent décrit; au printemps, l'effet d'altitude est le plus

(30) A. Orieux, Radar et pluviométrie à Marignane (115)

puissant.

Pour les douze mois de l'année, les coefficients de corrélation sont significatifs, mais les coefficients de détermination ne dépassent jamais 25 %; l'effet d'altitude n'est donc pas tyrannique. Cette conclusion semble contredire les résultats de l'analyse factorielle R-mode où le premier facteur défini est le relief; ce facteur ne rend pas compte des hauteurs, mais de leur variabilité; en outre, il intègre non seulement l'altitude, mais aussi l'ampleur, l'orientation, l'exposition... Dans le rôle fondamental du relief, le critère altitude, secondaire, intervient moins que l'orientation, l'exposition par rapport aux flux.

La largeur d'un massif montagneux est un dernier critère dont Queney a démontré le rôle dès 1936. Les paramètres l_s - stabilité du flux - et l_f - effet de rotation de la terre - varient suivant la largeur de la chaîne; ainsi pour une largeur supérieure à 1 000 km l_s et l_f , importants, créent un système de vagues sous le vent, avec déplacement horizontal des lignes de courants, tandis qu'une chaîne de quelques centaines de mètres ne provoque qu'une onde simple. Certes ce modèle, repris par Lyra et Scorer est actuellement critiqué, mais la largeur des Alpes demeure un facteur important de cyclogénèse.

7-2-2 LE CONTACT PHYSIQUE TERRE-MER

L'orientation précise du littoral est un premier caractère important. En Aquitaine, le contact terre-mer nord-sud ne varie pas, sauf au niveau du golfe de Gascogne. Suivant la trajectoire précise des flux, les effets sont divers mais ils demeurent constants sur toute la côte; une masse d'air homogène abordant de front le littoral demeure homogène; si le déplacement est parallèle à la côte, une limite apparaît. Ce n'est pas un

front, mais en présence d'une perturbation, l'effet frontal est renforcé.

Trois anomalies, l'estuaire de la Gironde, le golfe d'Arcachon et, surtout, le golfe de Gascogne favorisent la formation de dépressions locales, peut-être même régionales. Le golfe de Gascogne, le plus vaste, attire les basses pressions, cellules annexes d'une zone dépressionnaire plus complexe; il est partiellement responsable de l'anomalie pluviométrique positive du pays basque. Au fond de ce golfe, des hautes pressions régionales se développent par circulation zonale, les Pyrénées formant une barrière et provoquant une accumulation d'air. Le tracé du littoral à cette extrémité du sud-ouest a donc une influence sur la pluviosité.

Dans le sud-est, l'agencement moins rigide s'ordonne suivant deux directions. En Roussillon et à l'est de Toulon, le littoral fait front aux courants d'est et de sud-est, et les autres flux abordent le continent avec un angle d'incidence plus ou moins ouvert. Les conséquences climatiques sont multiples; le mistral balaye régulièrement toute la côte de Marseille à Toulon, parfois jusqu'à Saint-Raphaël, mais il souffle au large de la côte-d'Azur abritée. Les conséquences pluviométriques ne sont pas moindres, comme le prouvent des études ponctuelles. Les situations de sud-ouest provoquent des chutes de neige dans la région marseillaise, mais au-delà du cap de Giens, dominent des situations de sud-est (31); cette limite, variable suivant les types de situation, entre Saint-Raphaël et l'île de Porquerolles, se déplace de cap en cap par spasmes. En Provence occidentale et sur une partie du Languedoc, le littoral orienté ouest-est fait face aux courants de sud; il est plus ouvert aux différents types de courants perturbés.

(31) A. Dauphiné, Les chutes de neige sur le littoral méditerranéen du sud-est français (98).

Le tracé de la côte méditerranéenne, plus indenté, provoque en surface des variations de pression, comme le montrent les études de W. Bleeker (32). Sur une île ou sur un cap étroit, apparaît le jour un talweg prononcé, et la nuit une zone de haute pression. Dans le cas d'une côte à courbure convexe, se forme une dépression le jour à l'intérieur du continent, puis la nuit une cellule de haute pression. En admettant qu'un grand nombre de précipitations sont recueillies la nuit, on comprend ainsi la règle émise par Gaussien : les pluies sont inférieures dans les postes côtiers avancés. Ces centres d'action éphémères, peu creusés, ne peuvent pas provoquer des pluies, mais ils accentuent ou freinent les ascendances dynamiques dues aux mécanismes généraux.

Le relief des littoraux, seconde caractéristique, oppose une fois encore, le sud-ouest et le sud-est. En Aquitaine, sauf dans l'extrémité méridionale, le littoral est plat et aucun relief ne barre l'horizon. Certes, le bourrelet dunaire se traduit par une augmentation de la pluviosité, démontrée par la carte d'H. Godard (33), mais les véritables reliefs montagneux sont loin à l'intérieur : seule exception à la règle, le littoral basque situé au pied des Pyrénées. Dans le sud-est, les chaînons montagneux sont plus proches du littoral. A l'ouest de Marseille, la côte est basse, sauf à l'extrémité sud, où les Pyrénées plongent en Méditerranée. A l'est, les massifs anciens ou les chaînes tertiaires réduisent les plaines littorales à de simples rentrants; l'effet de frottement plus important peut même bloquer des perturbations; ainsi le vortex qui remonte vers le nord à partir de la Tunisie les

(32) W. Bleeker, (edit) The UNESCO/WMO Seminar on Mediterranean synoptic meteorology (90)

(33) H. Godard, La pluviosité en Gironde (106).

18 et 19 février 1972 est bloqué par les chaînes alpines; il use toute son énergie cinétique pour essayer de surmonter cette barrière, et libère ainsi toute sa puissance; à Saint-Vallier, au pied du Cheiron, on recueille 299 mm en cinq jours contre quelques millimètres dans les vallées intérieures; le 19 février, la tempête se lève et fait rage, ne touchant que la côte. L'effet d'écran s'ajoute donc à l'ascendance dynamique par situation favorable, et donne des pluies très fortes sur ces rivages.

7-2-3 LE CONTACT THERMIQUE TERRE-MER

Les documents permettant d'étudier le contact thermique terre-mer sont très incomplets. Pour l'océan atlantique, le chercheur dispose d'atlas précieux où sont indiquées les températures moyennes de l'eau et de l'air. Les données journalières sont rares, et on ne peut décrire qu'un état moyen. Sur les littoraux méditerranéens, la documentation est un peu plus complète, et outre l'atlas de AR. Miller, on dispose de nombreux articles locaux (34).

Il n'est pas possible d'établir avec précision le bilan énergétique terre-mer, car il faudrait disposer des données suivantes, l'absorption de la radiation solaire et du ciel, la convection de chaleur sensible de l'atmosphère à la mer, et la condensation de vapeur d'eau sur la surface marine qui constituent les apports. Les pertes sont la radiation de la surface marine, la convection de chaleur sensible de la mer vers l'atmosphère et l'évaporation. Une technique plus simple consiste à utiliser le rapport de Bowen (35), mais on ne dispose pas de cartes illustrant les variations de cet indice.

(34) AR. Miller, P. Tchernia, Mediterranean sea atlas of temperatures... (111)

(35) H. Lacombe, Cours d'océanographie physique (56).

La Méditerranée est une mer intérieure reliée à l'Atlantique par le seul détroit de Gibraltar profond de 320 m, où l'eau méditerranéenne s'écoule en profondeur. Il sort en moyenne moins d'eau qu'il n'en rentre, car la Méditerranée est le siège d'une intense évaporation; les apports d'eau dus aux précipitations et au ruissellement ne compensent pas les pertes par évaporation. Ces eaux ont un mouvement cyclonique au niveau de la Provence, avec parfois des courants côtiers inverses.

Les caractères thermiques moyens de la Méditerranée au large du littoral français sont assez bien connus, malgré la complexité de ce domaine maritime. Le régime thermique des eaux méditerranéennes dans la couche superficielle est nettement décalé; la saison froide dure de janvier à la fin avril - début mai. L'augmentation thermique est brutale en mai, tandis que la décroissance est très régulière après août-septembre.

Pour certains climatologues, notamment P. Pedelaborde, la Méditerranée est toujours plus chaude que l'air susjacent. Ceci n'est pas confirmé, ni par les océanographes des centres français, ni par leurs collègues italiens; par rapport aux températures de l'air, la Méditerranée est plus chaude en hiver, d'octobre à avril, plus froide de mai à septembre, et déjà M. Béranger écrit à propos de l'été : "La température moyenne de l'air est en surface généralement plus élevée que celle de la mer, ce qui augmente la stabilité des masses d'air" (36).

Deux autres caractères thermiques apparaissent; un dôme plus froid au niveau du Roussillon ou au large du delta rhodanien ce qui semble plus logique. L'écart thermique moyen est modéré, de 2 à 4° C suivant les saisons, mais il est plus élevé à l'échelle journalière.

(36) M. Béranger, Essai d'étude météorologique du bassin méditerranéen (86).

D'autre part, tous les travaux ponctuels attestent une très grande variabilité spatiale accentuée en été. Les variations temporelles sont aussi très fortes; dans la lagune du Brusc on a relevé des minima de l'ordre de 5° C et des maxima atteignant 36° C; l'amplitude journalière de 5 à 8° C en hiver, dépasse 10° C en été, de mai à août. Ces nombres sont relativement plus faibles hors de la lagune, mais les relevés effectués sur le littoral du Roussillon, à Banyuls, confirment ces caractères.

L'Océan Atlantique au large de l'Aquitaine est différent. La circulation des eaux n'est pas cyclonique, mais anticyclonique, avec un courant de nord issu de la diffluence de la dérive nord-atlantique, ou plus exactement un courant qui se développe au sud de cette dérive.

Les caractères thermiques sont différents de ceux de la Méditerranée. En hiver, l'océan est plus froid, et les cartes déjà anciennes de Sverdrup (37) indiquent une perte de 150 à 200 calories/cm² et par jour. En été, le bilan est équilibré, l'air est légèrement plus chaud que la mer. En hiver, les températures moyennes, illustrées par les isothermes 9 et 11° C, sont parallèles à la côte. En août, un coeur chaud d'environ 22° C se calque sur le golfe de Gascogne; les températures baissent à l'ouest et au nord de ce pôle chaud. Par rapport aux moyennes des eaux méditerranéennes, l'écart est très faible en été, et la Méditerranée est à peine plus chaude en hiver. Le caractère chaud de cette mer intérieure est exagéré, même si à l'échelle journalière de grandes variations existent.

7-3 LES CENTRES REGIONAUX

Les lois de la pluviosité s'inscrivent souvent

(37) HU.Sverdrup, Oceanography for meteorologists (75).

dans un cadre spatial réduit. L'altitude, l'exposition et le morcellement du relief expliquent partiellement certaines anomalies, mais des études précises montrent l'existence de centres secondaires régionaux, parfois même locaux, notamment sur les rivages méditerranéens. On peut donc écrire après L. Bonacina que ! "Les différences géographiques de la surface terrestre est capable non seulement de modifier le temps, mais aussi de transformer un type en un autre" (38).

Pour mener à bien de telles études, les rares documents disponibles sont les liguriennes tracées au centre régional de Nice. Ces cartes sont jetées au rebut après vingt quatre mois, et la série analysée est brève; malgré tout, des régularités apparaissent. Il est matériellement impossible de présenter tous les centres d'action et les lois correspondantes, et seuls quelques exemples sont étudiés.

7-3-1 LES CENTRES D'ACTION REGIONAUX ET LOCAUX EN MEDITERRANEE

Le comté de Nice présente un relief original, les Alpes plongeant dans la Méditerranée. A l'ouest du Var, les chaînons montagneux s'élèvent brutalement mais n'atteignent pas le rivage. Ils se dressent parallèlement au littoral comme le Cheiron; plus à l'ouest, le Tanneron et l'Estérel forment une barrière qui interrompt la plaine littorale. A l'est du Var, les chaînes sont perpendiculaires à la côte et donnent une série de caps qui s'avancent en mer. La trouée du Var, le troisième élément majeur de l'agencement morphologique canalise des coulées froides d'ampleur modeste. Sur cette région est souvent installée une dépression régionale,

(38) L. Bonacina, Geographical differentiation and the genesis of weather types (40).

allongée d'ouest en est, qui a des affinités avec le minimum principal du golfe de Gênes.

La première ressemblance est due à l'origine de cette basse pression secondaire. Elle naît sous le vent des Alpes par flux de nord, nord-ouest ou nord-est. D'autre part, l'effet thermique influence la position de cette dépression régionale; en hiver, elle est centrée sur la Méditerranée plus chaude que le continent. Cette position "maritime" explique la répartition spatiale de nombreuses averses limitées au littoral et aux premiers contreforts alpins. En été, l'opposition thermique est inverse, les coulées froides descendant par la basse vallée du Var sont rares et cette dépression, plus fragile, mord cependant plus profondément sur les espaces intérieurs. Il n'est pas rare de quitter Nice sous un soleil de feu et de recevoir d'énormes gouttes d'eau cinquante kilomètres plus au nord.

La seconde affinité avec le minimum du golfe de Gênes est l'effet de contact, ce centre local prolongeant le centre dépressionnaire ligurien; il forme un appendice au large de la riviéra mentonnaise qui touche le littoral à partir du cap d'Antibes. L'orientation du littoral est responsable de cette anomalie qui se traduit par des variations spatiales à petite échelle très importantes; Menton, plus proche du minimum de Gênes est pourtant moins arrosé qu'Antibes.

La disposition des reliefs explique aussi la convergence des isobares sur les massifs anciens à l'ouest de la côte-d'Azur, comme le montre la situation neigeuse de mars 1971. Les flocons très abondants dans la région cannoise et sur les pentes du Tanneron, donnent un manteau de 20 cm, mais à l'est du Var, seuls quelques flocons épais emplissent le ciel. La disposition des isobares est caractéristique; ils se resserrent à l'ouest du cap d'Antibes. La situation générale commande la présence ou l'absence des averses et le minimum secondaire explique essentiellement les variations spatiales

d'intensité et de durée.

Dans ses nombreuses études sur le climat varois, E. Rougetet a révélé la présence d'un centre régional à l'est du Var, d'origine hydrodynamique, renforcé par effet thermique (39). La fréquence de ce centre secondaire et l'allure des reliefs, contribuent à la formation du maximum pluviométrique de Saint-Raphaël. L'analyse de la trombe d'eau du 6 octobre 1961, par M. Marres (40) est un autre exemple précis des relations entre morcellement du relief et centres locaux. La trombe d'eau se développe et sévit sur l'étang de Thau, nappe d'eau peu profonde qui se réchauffe rapidement; en se déplaçant vers le nord, cette trombe canalisée par les reliefs se renforce, puis se désagrège très rapidement.

7-3-2 LES CENTRES LOCAUX ET REGIONAUX EN AQUITAINE

En Aquitaine, ces centres régionaux semblent moins nombreux, mais sans doute est-ce dû à une lacune de documents et de travaux de méso-climatologie. Une région est cependant originale, le golfe de Gascogne où des centres régionaux, anticycloniques et cycloniques sont fréquents. Très souvent, l'anticyclone des Açores a un léger appendice qui pénètre sur le sud de l'Aquitaine, notamment quand l'anticyclone, en position zonale, est centré au sud. Les flux qui circulent sur sa face nord s'accumulent contre l'obstacle pyrénéen avant de le contourner, provoquant la naissance de hautes pressions régionales, mais décalées en altitude et donc peu protectrices.

Le golfe de Gascogne est aussi le siège de dépressions, minimum né sur place, ou plus généralement centre venu du nord-ouest, du sud-ouest, parfois même de

(39) E. Rougetet, Le minimum de Saint-Raphaël (117)

(40) M. Marres, Une trombe en pays languedocien (6 octobre 1961) (110).

l'ouest comme le montre l'exemple du 12 septembre 1959. Ce centre peu original a une dynamique caractéristique; très mobile, il se loge dans le golfe de Gascogne où il stagne longuement. Cette stagnation, due au tracé du littoral et au contact thermique terre-mer, est à l'origine des pluies durables du pays basque.

L'analyse d'exemples particuliers de situations pluviométriques, en Aquitaine, fait apparaître d'autres centres régionaux, par exemple la présence d'un centre dépressionnaire sous le vent des Pyrénées par flux de sud, minimum peu développé avec les documents disponibles. D'autre part, en été des centres secondaires ont une origine thermique indéniable, prouvée par leur évolution diurne sur les cartes tri-horaires : ils s'effacent en cours de nuit; ces dépressions thermiques ne suffisent pas à provoquer des précipitations selon P. Pedelaborde, hypothèse qui doit être vérifiée (41).

La mise en place empirique des mécanismes généraux et régionaux sur le canevas géographique à l'aide des travaux antérieurs est insuffisante; l'analyse des "types de situation" est nécessaire, mais auparavant il faut rechercher si un facteur isolé ne peut pas déterminer l'occurrence des averses.

(41) P. Pedelaborde, La thermoconvection (63).

C H A P I T R E H U I T

FACTEURS AEROLOGIQUES ELEMENTAIRES ET PRECIPITATIONS

Ce chapitre repose sur une double démarche, rechercher si un facteur climatique quelconque détermine les précipitations, puis constater l'importance des facteurs, isolés volontairement. Ces deux approches différentes se complètent; la première phase est une recherche de lois, et la seconde un constat. L'exemple des gouttes froides en altitude permet de comprendre cette différence. La présence d'une goutte froide en altitude donnerait des précipitations; les exemples décrits ne sont pas une preuve, observation et vérification étant deux démarches scientifiques différentes; des averses sont indépendantes de cette situation, et à une goutte froide n'est parfois associée aucune averse. Cette hypothèse doit donc être vérifiée; l'expérimentation étant impossible, seuls des tests statistiques, tel le chi-deux, permettent de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Les hypothèses à vérifier sont négatives, aucun facteur isolé, une goutte froide, un front froid... ne provoque à lui seul des pluies. En effet, si l'existence d'une relation entre un facteur isolé et l'occurrence des précipitations est démontrée, la théorie des systèmes ouverts présentée dans le chapitre neuf est erronée, et l'analyse des complexes, les types de situation-circulation, est inutile. L'absence de loi entre des caractères isolés et les pluies ne signifie pas que ces mêmes facteurs ordonnés en complexes n'interviennent pas; les hauteurs d'eau journalières sont donc ensuite classées suivant ces éléments.

8-1 LES FACTEURS RETENUS ET LES TRAITEMENTS APPLIQUES

Des cartes représentées dans les bulletins quotidiens d'études et les bulletins quotidiens de renseignements, les facteurs principaux suivants ont été retenus (1).

- en altitude

- a la pression.
- b la courbure des flux.
- c la direction des flux.
- d la température.

- en surface

- j les centres d'action.
- k la direction des flux.
- l la présence ou l'absence de perturbation.
- m la trajectoire des perturbations.
- n la position des perturbations par rapport à la station.
- o le type de front.
- p la trajectoire des fronts.
- q la variation de pression en vingt quatre heures.
- r le type de ciel.

A ces critères puisés dans les BQE et BQR sont ajoutés trois critères d'identification des masses d'air :

- e type
- f structure
- g tension de vapeur d'eau

Le choix de la plupart de ces facteurs est évident, mais il est explicité en détail dans le chapitre suivant.

(1) Suivre le code général des indicateurs.

Tous ces facteurs ont été dépouillés sur dix ans successifs (1962-1973) sauf pour les masses d'air (1969-1973), pour les six stations suivantes : Bordeaux, Biarritz, Toulouse, Perpignan, Marignane et Nice. Ces facteurs quotidiens sont mis en relation avec les hauteurs d'eau recueillies en vingt quatre heures sous une double forme correspondant aux deux problématiques définies ci-dessus. Pour rechercher des lois, le test du chi-deux est appliqué en retenant les critères pluie - non pluie, et présence - absence du facteur considéré. Pour répondre à la seconde question, les cas et les hauteurs d'eau correspondants sont additionnés, suivant les modalités des critères, par exemple les hauteurs d'eau par perturbations d'ouest, de nord... Pour comparer les six stations toutes ces valeurs ont été transposées en pourcentage.

8-2 FACTEURS AEROLOGIQUES ET PLUIES : LE SCHEMA ANNUEL

8-2-1 DE L'ABSENCE D'UN FACTEUR DETERMINANT

Le tableau 8-1 présente les résultats des tests du chi-deux effectués sur tous les facteurs aérologiques retenus. A l'échelle de l'année, ils sont tous négatifs : aucun facteur isolé ne parvient à donner des précipitations; une goutte froide, un front froid ou un talweg profond en surface ne sont pas suffisants pour déclencher des précipitations. Les valeurs du chi-deux confirment l'hypothèse d'indépendance entre ces critères non seulement au seuil de probabilité 95 % retenu par tous les scientifiques, mais même au seuil de probabilité 90 %.

8-2-2 PLUIES ET FACTEURS AEROLOGIQUES : ANALYSE FREQUENTIELLE

8-2-2-1 Facteurs en altitude

L'étude fréquentielle des pressions en altitude

démontre le caractère marginal des Midis. Sur toutes les stations, les hautes pressions sont trois fois plus nombreuses que les zones dépressionnaires. La brièveté de la série traitée n'est pas en cause, car si 1967 est une année sèche, 1968 est très humide. L'abri aérologique est donc presque permanent sur les Midis.

En tenant compte des seules situations pluvieuses, la prédominance des hautes pressions en altitude demeure. Dans toutes les stations, plus de 50 % des averses sont recensées par hautes pressions, et même 70 % à Biarritz. Le critère pression en altitude n'a pas un effet évident sur la pluviométrie, et semble être secondaire, même si les averses associées à une situation anticyclonique, sont de faible intensité; à Perpignan, 67 % des averses "anticycloniques" ne donnent que 56 % des hauteurs d'eau annuelles. Les variations régionales sont médiocres; ces situations pluvieuses sont plus fréquentes en Aquitaine que sur les littoraux méditerranéens, où les écarts régionaux sont aussi plus importants, 67 % à Perpignan mais seulement 55 % à Nice. A l'échelle de l'année le géopotential est un critère peu important, sauf peut-être en prenant la résultante de différents niveaux.

La courbure des flux, second facteur d'altitude, a un rôle plus tyrannique. Dans toutes les régions, plus des deux tiers des averses se produisent sous un flux d'altitude ayant une courbure cyclonique. Les vallées secondaires qui s'incurvent dans les hautes pressions perturbent donc l'effet d'abri aérologique. Les variations spatiales sont nuancées entre le sud-ouest prolongé par le Roussillon, et les littoraux provençaux, où les ondées sous une courbure anticyclonique sont plus rares, et d'intensité plus faible, caractère d'ailleurs commun à toutes les stations.

La combinaison des deux facteurs, pression et courbure des flux, donne quatre situations possibles :

TAB 8.1 - Résultats du test du CHI-DEUX (Année)

	A	B	C	D	E	F
a	0,82	0,94	0,72	1,86	2,10	1,98
b	1,54	1,62	1,08	2,16	2,48	2,11
c	3,06	3,16	4,25	6,01	6,41	6,44
d	0,48	0,41	0,79	0,84	0,37	0,46
j	1,48	1,64	1,82	1,13	1,26	1,39
k	4,12	4,10	4,38	4,41	4,65	4,26
l	1,72	1,40	1,37	1,18	1,12	1,15
m	3,24	3,29	3,41	3,10	3,08	2,98
n	2,11	2,62	2,47	2,38	2,17	2,04
o	3,16	3,84	3,24	4,16	4,22	4,01
p	5,81	5,26	5,18	6,08	5,82	6,19
q	2,17	2,11	2,21	1,84	1,72	1,76
r	4,31	4,20	4,15	4,62	4,60	4,21
e	1,06	0,95	0,99	1,02	1,18	0,93
f	1,58	1,63	1,81	1,60	1,09	1,66
g	2,19	2,38	2,34	2,69	2,29	2,41

Légende : A Bordeaux D Perpignan
 B Biarritz E Marignane
 C Toulouse F Nice

NB : Il faut tenir compte des degrés de liberté

$$V = (1 - 1)(c - 1)$$

l : nombre de ligne et c de colonne.

Avec indice c le tableau de contingence ayant 5 colonnes et 1 ligne, v est égal à 4, et donc le chi-deux doit être supérieur à 9,49 et non pas 3,84.

- anticyclonique parfait
- anticyclonique avec courbure cyclonique des flux
- dépressionnaire parfait
- dépressionnaire avec courbure anticyclonique des flux.

Le premier type, 40 à 50 % de toutes les situations, majoritaire, confirme la position marginale des Midis par rapport à la zone tempérée. Les situations parfaitement dépressionnaires, peu fréquentes, sont inférieures à 20 %; ce type de situation est plus fréquent sur les rivages méditerranéens, à l'est du Rhône. La comparaison entre les deux types de situation qualifiée d'imparfaite est éloquent; le schéma perturbé imparfait est très rare, moins de 3 %, tandis que le type anticyclonique imparfait occupe le second rang (30 %).

Ces analyses démontrent deux faits fondamentaux. L'abri aérologique en altitude, un facteur presque permanent, est souvent très imparfait; de très nombreuses averses correspondent à de hautes pressions ou à des flux à courbure anticyclonique. Quand ces deux critères négatifs s'additionnent, les ondées, plus rares, ne sont jamais totalement absentes à l'échelle de l'année.

L'examen de la direction des flux en altitude affine ces premières conclusions. Le caractère marginal de l'ensemble des Midis est indéniable, les flux zonaux d'ouest ne dépassent jamais le seuil de 15 %, sauf à Biarritz. Les flux d'est correspondent à des situations méridiennes dont l'axe est incliné vers le sud-est; donc plus de 80 % des flux en altitude ont une composante méridienne. Le rattachement des Midis à la zone tempérée où prédominent, semble-t-il, des flux d'ouest est discutable.

La direction des flux oppose les deux Midis. En Aquitaine, les flux méridiens de nord humides sont les plus fréquents, environ 40 %; encore fréquentes en Roussillon, ces pluies se raréfient dans le delta rhodanien et sur la côte provençale et ligure, moins de 20 %. D'autre

part, les pluies par flux de nord ont une intensité "normale" en Aquitaine, les fréquences des hauteurs relevées étant égales aux fréquences des chutes, mais sur les littoraux méditerranéens, y compris en Roussillon, elles sont moins copieuses.

Les averses par flux méridiens de sud représentent le négatif du schéma des pluies par flux de nord; elles sont prépondérantes sur les rivages du sud-est, plus de 50 % dans les stations du bas-Rhône, et moindres en Aquitaine, 37 % à Bordeaux. En outre, leur intensité augmente d'ouest en est. Les pluies par flux d'ouest, sont à peine plus fréquentes dans le sud-ouest (15 % en moyenne), qu'en Méditerranée (11 %), mais les hauteurs d'eau recueillies sont très différentes, à Bordeaux 17 % des hauteurs d'eau correspondent à ces situations contre seulement 3 % à Perpignan, où les averses sous un flux d'ouest ont une intensité très faible, témoignant de l'abri géographique des Pyrénées.

8-2-2-2 Les facteurs de surface

La présence au sol de pressions inférieures à la normale ne constitue pas une condition nécessaire à l'apparition de précipitations; en Aquitaine, plus de 50 % des averses tombent par situation anticyclonique, de dorsale ou de col; parmi elles, beaucoup de situations sont marginales par rapport aux hautes pressions. Les averses, en moyenne moins intenses, donnent 40 % des hauteurs recueillies. Le rôle protecteur de l'anticyclone des Açores est donc discutable. Dans le delta rhodanien et ses annexes orientaux, le schéma est plus conforme aux idées classiques. Le pourcentage des pluies est inférieur à 30 %, et surtout les hauteurs recueillies sont faibles, moins de 5 % à Marignane. Le Roussillon, région de transition, constitue une ouverture de l'Aquitaine intérieure sur la Méditerranée.

La présence ou l'absence de perturbations et de

fronts constitue un autre thème de réflexion. Une situation est perturbée même si les Midis sont surmontés par un ciel de marge, et si aucun front ne se déplace sur ces régions. Cette remarque explique les variations de fréquences visibles entre le critère perturbé, et le critère type de front.

Une chute sur cinq s'observe en l'absence de perturbation; une fois sur cinq, le modèle norvégien classique est inadapté pour expliquer les précipitations, conclusion importante reprise dans les chapitres ultérieurs. D'autre part, cette observation est valable pour l'ensemble des Midis; le pourcentage le plus élevé de situations non norvégiennes pluvieuses est atteint à Toulouse.

L'analyse des fronts atteste la prédominance des pluies de fronts froids avec des pourcentages voisins de 30 %, constants dans toutes les stations. Malgré ce premier rang, les averses liées aux fronts froids ne sont pas les seules possibles. Les hauteurs d'eau apportées par ces fronts ne sont pas caractéristiques, car les pourcentages agglomèrent des fronts froids très actifs précédés par un flux chaud de sud, et les fronts froids peu actifs, parfois même "secs", associés à des flux d'ouest ou de nord. Sur les rivages méditerranéens, sauf dans le comté de Nice, les averses sont peu intenses, comme l'attestent les pourcentages des hauteurs d'eau cumulées, et le Roussillon n'échappe pas à cette règle générale. Il est impossible de distinguer entre anafronts et katafronts.

A cette première tranche d'eau apportée par les fronts froids s'ajoutent les lames provoqués par le passage d'une perturbation complète, car il n'est pas toujours possible de distinguer les pluies de front chaud, de secteur chaud et de front froid. Ces situations à évolution rapide, ne sont pas forcément zonales, spécialement sur les rivages méditerranéens où les jets

en altitude "tirent" les perturbations; cela explique la fréquence relativement élevée de cette classe.

Les fronts chauds sont relativement rares, moins de 10 % des chutes et des hauteurs, même si une partie des averses incluses dans la classe précédente appartiennent à cette catégorie; aucune variation spatiale caractéristique ne différencie les régions.

Les fronts occlus opposent nettement les deux domaines; à Marignane, leur fréquence est de 13 %, et ils apportent 25 % des hauteurs d'eau, pour 5 % seulement à Toulouse. Les fronts occlus, très actifs sur les rivages méditerranéens, provoquent de fortes averses.

La dernière classe regroupe les chutes non frontales, les plus nombreuses. Dans les 40 % sont englobées des précipitations expliquées par le modèle norvégien, pluies de marge ou de traine; ces dernières sont particulièrement nombreuses et actives dans le sud-ouest. L'analyse des pourcentages de chaque type de ciel indique, en effet, que plus de 30 % des averses sont issues de traines; au contraire en Méditerranée, ces traines, stabilisées par un long parcours et dont la subsidence est aggravée par l'orographie, sont peu actives. Ces traines ralenties expliquent le fort pourcentage des pluies "non frontales" en Aquitaine. Sur les rivages méditerranéens, les pluies de traines, plus rares, sont remplacées par des ondées de marge, 22 % à Perpignan pour 14 % à Toulouse.

Les trajectoires des perturbations, facteur de circulation, sont essentiellement d'ouest et de sud. Les perturbations d'ouest sont les plus nombreuses en Aquitaine, car cette classe comprend toutes les perturbations d'ouest y compris celles qui circulent sur les voies septentrionales; sur les rivages méditerranéens, les courants méridiens de sud occupent le premier rang. Les courants méridiens de nord, plus nombreux en Aquitaine, provoquent des pluies intenses, spécialement sur

le piémont pyrénéen; en Méditerranée; notamment dans le bas-Rhône, les apports de ces systèmes perturbés sont inférieurs à 10 % des hauteurs d'eau. Dans l'ensemble des Midis, les courants perturbés d'est sont exceptionnels, moins de 5 %, à peine plus nombreux en Méditerranée; les perturbations rétrogrades sur le golfe de Gênes sont plus un mythe qu'une réalité, même si les averses par flux d'est sont majoritaires. La distinction entre trajectoire des flux et trajectoire des perturbations est impérative dans ces régions.

Les flux pluvieux, distincts des trajectoires des courants perturbés, sauf exception, font éclater l'unité climatique des Midis. En Aquitaine, les flux de nord, d'ouest, et de sud ont une fréquence sensiblement égale; sauf à Biarritz, où les averses sont intenses, les pluies par flux de nord sont généralement médiocres; la variation spatiale des intensités est inverse par flux de sud.

Sur les rivages méditerranéens, les flux d'est opposent les régions occidentales et orientales; en Provence, les pluies par retour d'est constituent le mécanisme fondamental, 70 % des chutes à Marignane; plus à l'est, ce pourcentage décroît, mais la fréquence absolue augmente, disharmonie due aux dépressions régionales installées sur la mer; ces centres dépressionnaires, suivant leur position précise, dévient les flux d'est qui prennent une composante de nord ou de nord-ouest. Ces retours d'est prenant une composante de nord sont aussi très fréquents en Roussillon; le caractère thermique des flux de nord et d'est confirme cette anomalie; dans tous les postes méditerranéens, plus des trois quarts des flux de nord et d'est pluvieux sont chauds; flux humides de sud à sud-est, ils circulent autour des centres dépressionnaires régionaux, prenant des trajectoires variables.

Le Roussillon est original par l'importance des

flux pluvieux d'ouest et de nord nord-ouest, plus de 50 %. Il est indéniable qu'une part importante de ces flux sont des vents d'est à sud-est déviés, mais de nombreuses averses sont propres aux flux de nord-ouest froids. Ces pluies et celles par flux d'ouest sont issues des traines qui stagnent sur l'Aquitaine, comme le montrent des exemples précis de chutes sur le sud-ouest débordant en Roussillon, et la faiblesse des apports, moins de 20 %. Si aucun facteur isolé ne parvient pas à expliquer l'occurrence des précipitations, la direction des flux apparaît comme le critère le plus discriminant.

8-3 LES RYTHMES SAISONNIERS

8-3-1 DU ROLE DETERMINANT DE QUELQUES FLUX

Comme pour l'année le test du chi-deux est appliqué aux situations journalières, dans un cadre saisonnier, choisi en fonction des résultats du chapitre trois, et de la nécessité de comparer les deux domaines. En Aquitaine, janvier-février, mars-avril-mai, juin-juillet, août-septembre et octobre-novembre-décembre représentent le découpage saisonnier; il est identique en Méditerranée, excepté le regroupement des deux bimestres d'été juin-juillet et août-septembre.

Les tests du chi-deux sont tous négatifs sauf deux exceptions en janvier-février, communes à toutes les stations sauf Perpignan, où aucun chi-deux n'est positif. Les résultats positifs lient les flux de nord et les pluies en Aquitaine, loi vérifiée au seuil de probabilité 95 %; à Marignane et Nice cette même loi se vérifie avec une probabilité de 90 % seulement, mais elle concerne les flux d'est. Ces résultats démontrent l'absence d'un facteur déterminant et l'importance du critère trajectoire des flux.

8-3-2 FACTEURS AÉROLOGIQUES EN AUTOMNE (octobre- décembre)

Bien que cette saison soit humide, les pressions supérieures à la normale en altitude sont plus fréquentes que pour l'année; l'écart est faible, mais à Mari-gnane 70 % des hauteurs d'eau sont recueillies sous de hautes pressions au niveau 500 mb.

Cette anomalie est cependant atténuée, car le pourcentage des averses sous un flux à courbure anticyclonique diminue dans toutes les stations, et surtout sur les littoraux méditerranéens, même en Roussillon; à Perpignan, les hauteurs d'eau relevées sous un flux anticyclonique sont inférieures à 10 %.

Les flux de nord, plus fréquents dans le sud-ouest, donnent des averses médiocres sur le toulousain; en Méditerranée, les pluies par flux de nord en altitude sont moins fréquentes. Les pluies par flux méridiens de sud ont une évolution inverse; plus nombreuses en Méditerranée, où elles donnent plus de 80 % des hauteurs d'eau à l'est du Rhône, elles sont moins fréquentes en Aquitaine, notamment sur le littoral atlantique, où moins de 30 % des hauteurs recueillies leur sont liées. Quant aux situations d'est, toujours peu fréquentes, elles sont relativement plus nombreuses.

Les caractères généraux de la situation en surface évoluent lentement; les averses par régime anticyclonique sont toujours très nombreuses, plus de 50 % en Aquitaine, et même plus fréquentes sur les littoraux méditerranéens, spécialement à l'ouest du Rhône. Les situations norvégiennes, un peu plus fréquentes sur l'ensemble des Midis, expliquent plus de 80 % des averses.

Le classement des pluies suivant les types de front est sensiblement modifié par rapport au schéma annuel. Les averses associées à une perturbation complète, plus nombreuses, attestent une évolution plus rapide des courants perturbés, sauf sur les Midis méditerranéens.

TAB. 8.2- FACTEURS AEROLOGIQUES ET PLUIES (Année)

		A		B		C		D		E		F	
		N	H	N	H	N	H	N	H	N	H	N	H
Situation en altitude	a ₁	68	63	70	65	62	65	67	56	60	51	55	57
	b ₁	30	26	32	21	30	25	31	11	21	25	24	15
	c ₁	38	36	42	42	40	30	32	14	14	5	19	5
	c ₂	15	17	16	12	13	11	11	3	11	6	11	6
	c ₃	37	38	36	40	29	38	46	52	61	81	58	79
	c ₄	4	3	4	2	5	10	6	27	9	6	7	4
Situation en surface	j ₁₋₂₋₃	50	30	56	45	50	41	43	38	20	4	27	16
	l ₁	82	86	81	87	75	82	83	95	84	90	82	93
	o ₁	18	24	15	14	14	12	17	27	13	29	20	26
	o ₂	9	6	9	7	7	8	6	7	9	6	8	9
	o ₃	32	34	29	39	29	30	32	20	27	19	30	32
	o ₄	7	9	5	6	5	5	8	18	13	25	14	14
Circulation en surface	k ₁	27	26	28	36	32	30	36	17	13	11	22	14
	k ₂	28	31	26	26	25	25	22	14	6	6	14	11
	k ₃	32	33	27	27	20	21	16	18	12	14	17	17
	k ₄	7	6	10	7	10	10	21	46	66	68	45	57
	m ₁	16	20	15	19	15	16	14	11	6	6	11	9
	m ₂	39	40	55	36	36	32	34	31	34	45	38	34
	m ₃	25	25	25	27	20	23	30	35	38	43	37	46
	m ₄	1	1	1	0	0	0	1	2	2	1	1	0
Etat du ciel	r ₂	17	8	16	8	14	7	22	7	18	6	14	5
	r ₃	39	50	35	40	35	45	34	54	44	68	47	51
	r ₄	34	32	35	42	31	27	30	10	18	7	15	19
	r ₅	6	7	7	7	9	12	10	26	14	18	13	23

Légende :

A	Bordeaux	B	Biarritz
C	Toulouse	D	Perpignan
E	Marignane	F	Nice
N	Fréquence des chutes		
H	Hauteurs d'eau correspondantes (%).		

TAB. 8.3 FACTEURS AEROLOGIQUES ET PLUIES (octobre-décembre)

		A		B		C		D		E		F	
		N	H	N	H	N	H	N	H	N	H	N	H
Situation en altitude	a ₁	68	55	64	62	69	73	67	60	60	70	59	53
	b ₁	31	22	30	23	28	21	25	5	20	13	15	22
	c ₁	47	44	52	54	52	34	32	8	18	3	6	0
	c ₂	17	25	14	10	12	8	10	0	8	4	9	12
	c ₃	22	21	21	28	21	42	41	51	58	86	68	88
	c ₄	8	2	7	4	11	13	10	33	10	0	12	8
Situation en surface	j ₁₋₂₋₃	55	28	58	42	54	46	42	45	29	27	25	12
	l ₁	90	92	82	91	85	97	85	97	85	98	90	94
	o ₁	17	23	14	20	15	12	23	34	20	33	18	27
	o ₂	15	7	13	14	15	16	10	11	10	5	9	3
	o ₃	26	31	26	31	28	28	25	18	22	37	21	18
	o ₄	7	18	4	5	5	4	8	6	10	11	12	27
Circulation en surface	k ₁	25	18	25	37	32	23	28	13	16	2	9	7
	k ₂	17	24	17	20	18	13	19	14	8	5	6	3
	k ₃	43	48	41	32	29	38	19	10	18	13	21	16
	k ₄	8	4	10	7	12	16	26	55	56	78	62	72
	m ₁	17	23	14	20	15	12	23	34	20	33	18	27
	m ₂	15	7	13	14	15	16	10	11	10	5	9	3
	m ₃	26	31	26	31	28	28	25	18	22	37	21	18
	m ₄	7	18	4	5	5	4	8	6	10	11	12	27
Etat du ciel	r ₂	26	13	21	11	18	3	21	1	16	2	9	2
	r ₃	46	57	37	57	47	72	37	56	50	45	59	67
	r ₄	22	28	25	24	23	14	30	5	10	21	9	5
	r ₅	2	0	2	5	4	6	7	36	16	29	15	24

Légende :

- A, B, C, D, E, F, N, H, voir TAB. 8.2.

- Voir code général des indicateurs.

D'autre part, ces précipitations intenses représentent souvent plus de 20 % des hauteurs d'eau et même 30 à 35 % en Languedoc-Roussillon. Les précipitations de front chaud, plus fréquentes en Aquitaine centrale et à l'ouest du Rhône, donnent des apports toujours inférieurs à 15 %. L'activité de ces fronts chauds est très faible sur les rivages méditerranéens, le Roussillon excepté. Les pluies de front froid, relativement moins fréquentes, fournissent des totaux bruts plus importants. Les fronts froids sont peu actifs, sauf dans le bas-Rhône, où ils donnent presque 40 % des lames d'eau. Cette médiocrité n'est pas compensée par les traines, car à la fin novembre et en décembre l'effet stabilisateur thermique du continent intervient.

Les éléments dynamiques de la circulation présentent des caractères originaux. Les averses par flux de nord, insignifiantes sur les rivages méditerranéens, sauf en Roussillon, où ces flux correspondent souvent à des flux d'est déviés par les centres régionaux, sont nombreuses en Aquitaine; plus du quart des précipitations y sont recensées par flux de nord. Sauf en Roussillon, en Languedoc, et dans le bas-Rhône, les averses par flux d'ouest sont moins fréquentes. L'augmentation des chutes par flux de sud est très importante en Aquitaine; elles occupent le premier rang, avant les averses de nord majoritaires à l'échelle de l'année. Des nuances différencient les trois stations; à Biarritz, ces chutes très nombreuses, donnent des hauteurs importantes, près de 50 % de la lame d'eau; à Bordeaux, le nombre de chutes est élevé, mais les averses sont nettement moins intenses, et à Toulouse les précipitations moins fréquentes, sont comme à Biarritz, très copieuses. Ces variations spatiales résultent de l'influence du relief sur les flux de sud. En Méditerranée, l'augmentation de ce type est moins importante, et les pluies ne sont pas particulièrement copieuses. Les

averses par flux d'est restent majoritaires; peu nombreuses en Aquitaine, leur intensité s'accroît en toulousain. Sur les rivages méditerranéens où leur suprématie est indéniable, sauf en Roussillon, elles représentent plus de 50 % des chutes et plus de 70 % des hauteurs d'eau; la comparaison de ces deux pourcentages souligne leur forte intensité.

Les pluies par courant perturbé de nord, relativement moins fréquentes dans le sud-est sont toujours nombreuses en Aquitaine. Dans les deux Midis, les hauteurs correspondantes sont faibles, particulièrement dans les postes méditerranéens, où elles constituent toujours moins de 5 % des lames d'eau. Les chutes par courant perturbé d'ouest, fréquentes, donnent des lames d'eau plus minces, 20 % seulement à Marignane. Ces pertes sont compensées par les perturbations de sud; dans le sud-ouest, sauf dans les plaines intérieures, l'augmentation est limitée aux hauteurs; en Méditerranée, elle est généralisée, 62 % des chutes et 65 % des hauteurs à Nice, contre 37 et 46 pour l'année. Les courants perturbés de sud sont un des éléments explicatifs des fortes pluies d'automne sur le sud-est.

8-3-3 LES FACTEURS AEROLOGIQUES A LA FIN DE L'HIVER

(janvier-février)

L'examen des situations en altitude montre des liens entre facteurs, et des compensations qui en découlent. En janvier-février, sous l'influence des coulées froides actives qui se propagent loin au sud, les situations pluvieuses par hautes pressions sont nettement moins fréquentes par rapport au schéma annuel : moins de 50 % dans toutes les stations, et moins de 30 % à l'est du Rhône. Inversement, les pluies recensées sous des flux à courbure anticyclonique sont plus fréquentes, 20 % de plus à Bordeaux. L'augmentation des

précipitations de ce type, moindre sur les rivages méditerranéens, donne des hauteurs d'eau très élevées, 42 % à Nice.

La trajectoire des flux en altitude atteste ce renforcement des coulées de nord; il est illustré par les flux de nord en Aquitaine auxquels s'ajoutent les flux d'est liés à des crêtes ou des talweg basculés suivant un axe nord-est sud-ouest; à Toulouse, ces deux types représentent 63 % des relevés pour 38 % dans l'année. Cette efficacité des flux de nord est caractéristique de l'Aquitaine centrale et du Roussillon-Languedoc; à l'est et à l'ouest de ces régions, l'augmentation des averses par flux de nord en altitude est moins nette, et cette tendance s'inverse même dans le golfe de Gênes. Les pluies par flux de sud sont moins fréquentes sur la côte atlantique, 18 % à Bordeaux; puis l'écart avec les fréquences annuelles diminue en Aquitaine intérieure et en Roussillon où il s'annule; à l'est, un nouvel écart se creuse, mais en sens inverse, et à Nice 88 % des hauteurs d'eau sont relevées par flux de sud. Cette analyse fait apparaître une forte opposition en altitude entre les deux domaines, prédominance des chutes par flux de nord en Aquitaine, et par flux de sud dans le sud-est, à l'est du Roussillon.

En surface, le critère hautes pressions n'est pas discriminant en janvier-février; dans l'ensemble des Midis, les situations pluvieuses anticycloniques, de col, et de dorsale sont très nombreuses, plus de 50 % en Aquitaine; seule nuance, la diminution de ces chutes et surtout des apports qui apparaît du Languedoc au golfe de Gênes.

Les averses, non expliquées par le modèle norvégien, sont très rares; dans toutes les stations, sauf à Toulouse, plus de 80 % des chutes ont une origine "classique" et ce pourcentage s'accroît pour les hauteurs d'eau, notamment en Méditerranée où les fréquences atteignent presque l'unité.

TAB. 8.4 FACTEURS AEROLQGIQUES ET PLUIES
(janvier-février)

		A		B		C		D		E		F	
		N	H	N	H	N	H	N	H	N	H	N	H
Situation en altitude	a ₁	49	44	50	45	37	34	45	23	18	16	27	29
	b ₁	52	45	49	34	37	36	41	49	35	26	30	42
	c ₁	41	40	49	41	35	42	50	52	24	2	3	0
	c ₂	14	19	11	12	11	14	6	2	10	2	15	2
	c ₃	33	32	29	35	16	10	34	26	54	83	60	94
	c ₄	2	0	1	0	2	0	6	18	5	2	15	4
Situation en surface	j ₁₋₂₋₃	54	32	57	42	40	29	45	37	10	5	18	9
	l ₁	94	94	90	92	86	90	93	97	97	99	93	99
	o ₁	20	28	20	14	12	15	21	17	24	42	21	43
	o ₂	10	12	14	12	9	12	10	10	13	12	15	16
	o ₃	28	31	24	35	20	25	32	13	21	12	21	14
	o ₄	10	5	9	9	8	8	10	24	27	30	27	24
Circulation en surface	k ₁	30	32	32	45	29	45	39	52	16	17	15	10
	k ₂	37	38	28	32	22	20	26	6	13	1	3	0
	k ₃	25	21	27	18	12	6	15	19	24	35	12	18
	k ₄	6	7	10	2	5	0	19	20	43	46	66	70
	m ₁	20	19	20	18	15	22	23	38	16	8	9	17
	m ₂	62	69	54	60	42	41	52	30	62	85	66	73
	m ₃	12	6	15	13	8	5	13	10	13	2	12	5
	m ₄	0	0	0	0	0	0	4	17	5	2	6	4
Etat du ciel	r ₂	13	6	9	3	9	9	19	20	13	5	18	1
	r ₃	45	55	45	48	31	35	54	69	56	79	57	92
	r ₄	37	37	42	47	29	28	23	49	10	3	21	6
	r ₅	1	0	1	0	1	0	0	0	2	11	3	0

Légende : Voir TAB. 8.2

Le passage de perturbations complètes est fréquent en janvier-février, comme pendant le trimestre précédent, mais l'écart avec le modèle annuel s'amplifie dans les régions méditerranéennes, à l'est du Rhône; cette augmentation est plus nette pour les intensités que pour le nombre d'averses. Les pluies de front chaud et de front occlus progressent aussi, surtout les précipitations de fronts occlus, particulièrement sur les rivages méditerranéens. Inversement, les pluies sans front, de traine ou de marge, et les précipitations de front froid sont moins nombreuses; l'effet thermique du continent refroidi, facteur de stabilité, s'oppose aux mécanismes dynamiques; cet effet est plus sensible sur les averses de front froid que sur les autres types de précipitations, remarques confirmées par l'analyse des types de ciel. Les pluies orageuses sont pratiquement inexistantes en janvier-février, et les ciels de marge ne sont guère plus nombreux. Les traines et corps sont en nombre constant, mais les hauteurs d'eau fournies sont fortement modifiées. Si en Aquitaine, les averses de traine sont encore copieuses, sur les côtes méditerranéennes elles donnent moins de 10 % des lames d'eau. Inversement, les précipitations de corps, plus copieuses, apportent plus de 70 % des lames d'eau en Méditerranée.

La trajectoire des perturbations souligne l'appartenance des Midis au domaine tempéré. Les perturbations de nord sont à peine plus fréquentes, et les hauteurs d'eau correspondantes n'augmentent pas sensiblement car l'effet thermique des terres refroidies intervient; en outre, les masses d'air en présence contiennent peu de vapeur d'eau à cause de leur structure thermique. Les courants perturbés d'ouest, plus nombreux, atteignent des pourcentages records dans toutes les stations, traduction de la descente vers le sud des mécanismes climatiques de la zone tempérée. En outre, les perturbations d'ouest circulant à des latitudes plus septentrionales

demeurent actives par leur marge sud et par leur traîne, particulièrement en Aquitaine, bien que les hauteurs d'eau apportées soient médiocres. Les courants perturbés d'est différencient les deux Midis; exceptionnels sur le sud-ouest où ils donnent quelques précipitations neigeuses, ils ne sont plus accidentels sur les littoraux méditerranéens, même si leur fréquence reste inférieure à 10 %. Ces courants rétrogrades sont plus fréquents en fin d'hiver, car la situation générale, notamment la position des anticyclones continentaux, est favorable. La grande originalité de ce bimestre est l'atténuation des courants perturbés de sud, les plus fréquents à l'échelle annuelle, sur les rivages méditerranéens; dans aucune station, ils ne dépassent le seuil 20 %, et ils fournissent des pluies médiocres, rarement plus de 10 % des lames d'eau.

Les précipitations par flux de nord, plus fréquentes sur le littoral atlantique, se raréfient dans les pays toulousains; l'augmentation est médiocre en Méditerranée. Les situations par flux d'ouest, plus fréquentes sur la côte basque et la côte d'Argent, sont plus rares dans les plaines intérieures de l'Aquitaine. Cette évolution continentale, identique à celle des flux pluvieux de nord, s'explique par les conditions thermiques de fin d'hiver. Les précipitations par flux de sud, moins nombreuses sur l'ensemble aquitain, ne varient pas dans les régions méditerranéennes, sauf dans le delta rhodanien; à Marignane, un renforcement des situations pluvieuses par flux de sud est observé; elles donnent 35 % du module bimensuel. Les flux d'est pluvieux sont moins fréquents sur l'ensemble des Midis, excepté sur la côte d'Azur, 66 % à Nice. Les variations spatiales des pourcentages sont identiques à celles du modèle annuel : un accroissement d'ouest en est. L'opposition entre le littoral atlantique, moins de 10 % des hauteurs d'eau, et le littoral du comté de Nice reste très forte.

8-3-4 LES FACTEURS AEROLOGIQUES AU PRINTEMPS

(mars-mai)

Au cours de ce trimestre, généralement pluvieux dans les Midis, la situation en altitude évolue lentement. Quand règnent de hautes pressions en altitude, les chutes moins nombreuses par rapport à l'année, sont aussi fréquentes qu'au cours des deux mois précédents en Aquitaine; elles augmentent fortement sur les rivages méditerranéens, 47 % à Marignane contre 18 % en janvier-février; les hauteurs d'eau demeurent cependant médiocres dans le sud-est.

Les averses sous un flux à courbure anticyclonique ont une évolution inverse; stables en Aquitaine par rapport au modèle annuel, elles sont nettement moins nombreuses que pendant les deux mois précédents, 26 et 49 % à Biarritz. Sur les littoraux méditerranéens cette dégradation est plus nette, moins de 10 % des hauteurs à l'ouest du Rhône.

L'étude des flux en altitude confirme la persistance des mécanismes hivernaux au printemps. Par rapport au modèle annuel, les situations pluvieuses par flux de nord sont plus fréquentes sur la côte d'Argent et du Roussillon-Languedoc; ailleurs, les variations sont moins significatives. Les averses par flux d'est, plus nombreuses dans le sud-est français, donnent près de 15 % des hauteurs d'eau; en Aquitaine, malgré une augmentation par rapport au bimestre précédent, elles demeurent très rares. En additionnant les deux types de nord et d'est, les flux froids d'altitude représentent plus de 50 % des observations en Aquitaine. Les situations pluvieuses par flux de sud, toujours très fréquentes dans le sud-est, apportent 70 % et plus des lames d'eau; le Roussillon, région de transition à l'échelle de l'année, appartient alors nettement au Midi méditerranéen.

TAB. 8.5 FACTEURS AEROLOGIQUES ET PLUIES
(mars-mai)

		A		B		C		D		E		F	
		N	H	N	H	N	H	N	H	N	H	N	H
Situation en altitude	a ₁	51	41	54	33	48	39	55	19	47	20	51	36
	b ₁	31	30	26	17	26	11	28	4	16	4	15	12
	c ₁	45	38	50	51	49	29	38	19	23	12	17	7
	c ₂	12	14	11	13	11	5	10	2	7	1	10	6
	c ₃	38	43	33	33	34	51	46	70	59	71	58	70
	c ₄	3	3	4	0	4	12	4	7	9	13	12	15
Situation en surface	j ₁₋₂₋₃	46	37	57	54	54	44	44	12	42	35	30	16
	l ₁	88	92	85	86	78	85	79	96	92	96	84	95
	o ₁	22	32	18	18	17	13	19	36	23	18	17	41
	o ₂	9	3	9	4	5	1	2	0	4	18	12	2
	o ₃	34	34	36	38	33	36	31	12	30	8	28	9
	o ₄	5	6	4	6	4	4	7	34	9	12	7	3
Circulation en surface	k ₁	27	32	33	47	38	38	47	15	28	36	15	15
	k ₂	30	36	33	27	30	27	17	13	19	23	2	9
	k ₃	35	28	23	17	18	13	13	39	11	9	12	12
	k ₄	5	3	5	5	11	7	17	30	35	26	69	65
	m ₁	24	30	27	31	23	19	19	29	14	11	7	2
	m ₂	29	34	27	23	31	34	29	23	40	33	28	20
	m ₃	31	26	28	29	21	28	28	39	38	51	48	72
	m ₄	2	0	2	0	1	0	1	4	0	0	0	0
Etat du ciel	r ₂	12	7	17	5	16	6	25	14	14	15	20	2
	r ₃	39	55	35	40	37	48	34	59	47	59	46	64
	r ₄	44	33	42	50	41	41	37	25	28	23	23	27
	r ₅	3	4	3	3	2	2	2	0	4	1	5	3

Légende : Voir TAB. 8.2

Les fréquences calculées en fonction des éléments de la situation au sol attestent aussi une lente évolution par rapport aux mois de janvier et février. Les averses par hautes pressions demeurent très nombreuses, toujours plus de 30 %; elles augmentent dans les postes méditerranéens, notamment à l'ouest du Rhône, tandis qu'en janvier-février ce type d'averse est rare.

Cette évolution est confirmée par l'analyse du critère perturbation norvégienne. Par rapport au schéma annuel, les pourcentages restent stables, mais les chutes provoquées par des perturbations norvégiennes sont moins fréquentes qu'en janvier-février. Cette évolution se renforce en mai, notamment sur les rivages méditerranéens.

Les perturbations complètes, très nombreuses, provoquent des averses copieuses notamment en Méditerranée. Par rapport au bimestre précédent, seuls des écarts locaux sont nets. Les fréquences des pluies de front froid, égales à celles de l'année, augmentent par rapport aux deux mois précédents, sans fournir plus d'eau; dans les postes méditerranéens les lames d'eau restent inférieures à 15 %. L'activité médiocre des fronts froids au printemps, contraste avec leur vigueur en automne et au début de l'hiver. Les chutes associées à des fronts chauds et à des fronts occlus sont moins fréquentes, particulièrement sur les littoraux méditerranéens, et à Marignane les deux types passent de 40 à seulement 13 %. Dans les régions de sud-ouest cette évolution est moins brutale.

Les pluies orageuses sont légèrement plus nombreuses, notamment en mai. Le renforcement des pluies de traine, dû à la fin partielle du blocage thermique, constitue le principal trait nouveau. En Méditerranée où cette tendance est plus affirmée, environ 33 % des hauteurs ont pour origine le passage d'une traine, pour seulement 3 à 10 % en janvier-février.

Les précipitations par courants perturbés de nord sont plus fréquentes dans l'ensemble des Mids, sauf à l'est du Rhône, à l'abri des Alpes; cette augmentation est relative, car par rapport à janvier-février, l'accroissement très faible en Aquitaine, est négatif sur les littoraux méditerranéens où les situations hivernales persistent moins longtemps. Ce passage de l'hiver au printemps est plus rapide pour les précipitations par perturbations d'ouest. L'atténuation générale mais faible par rapport à l'année, s'accroît par comparaison avec les deux mois précédents; à Bordeaux, le pourcentage des perturbations d'ouest pluvieuses tombe de 62 % à 29 %, et à Nice, ces fréquences sont respectivement 66 et 28 %; les perturbations zonales d'ouest occupent alors le second ou troisième rang. Ces courants perturbés zonaux sont remplacés par des circulations méridiennes de sud. Par comparaison avec les fréquences annuelles, l'augmentation caractérise surtout le littoral basque et les régions méditerranéennes orientales; elle est générale par rapport à la fin de l'hiver, 20 % pour 5 % à Toulouse et cet écart s'amplifie à Nice.

Les précipitations par flux de nord sont en augmentation, témoignage de la persistance des influences nordiques au printemps; elles sont aussi plus fréquentes qu'en janvier-février car l'influence thermique négative due au refroidissement continental s'estompe, puis disparaît même totalement en mai. Les chutes associées aux flux d'ouest, plus fréquentes en Aquitaine, notamment dans les stations intérieures, sont moins nombreuses sur les littoraux méditerranéens, sauf dans les plaines du bas-Rhône où un net renforcement est perceptible. Par rapport aux mois de janvier-février, les pourcentages augmentent très légèrement, mais surtout les intensités s'élèvent, particulièrement sur la côte méditerranéenne. Malgré le fort accroissement des courants perturbés de sud, les averses par flux méridiens

de sud sont moins fréquentes et surtout les chutes sont moins copieuses. Par comparaison avec le bimestre précédent, les conclusions sont inverses, les fréquences augmentent, notamment en Aquitaine. Les chutes associées aux flux d'est ont des pourcentages inférieurs à ceux de l'année et de janvier-février; une seule exception, le littoral azuréen où elles demeurent très nettement majoritaires.

8-3-5 LES FACTEURS AEROLOGIQUES EN ETE

En été jusqu'à la fin septembre, l'abri aérologique constitué par les hautes pressions en altitude est pratiquement total; moins de 5 % des précipitations sont recensées par basses pressions. Cette situation est générale; la côte d'Azur est la région où cet abri aérologique est le moins stable. Inversement, par effet de compensation, la majorité des averses se produisent sous des flux à courbure cyclonique; les pourcentages varient suivant les postes.

Les averses par flux de nord en altitude sont nettement moins fréquentes au cours de cette saison chaude que pendant l'année et les mois précédents. Deux nuances perceptibles, l'exception constituée par le littoral varois et niçois, où les pluies recueillies sont importantes, et d'autre part, un renforcement de cette classe en septembre, notamment en Aquitaine. Les chutes par flux d'ouest, aussi fréquentes en été qu'en cours d'année dans le sud-ouest, augmentent même dans les stations du sud-est; cette augmentation porte plus spécialement sur les totaux. Ces traits originaux s'expliquent par l'importance des diffluences en altitude, et la formation de circulations d'ouest mal organisées, comme le montre l'écartement des isohypses. La troisième classe des averses par flux de sud s'étoffe; les pourcentages, particulièrement élevés sur les littoraux

TAB. 8.6 FACTEURS AEROLOGIQUES ET PLUIES
(juin-septembre)

		A		B		C		D		E		F	
		N	H	N	H	N	H	N	H	N	H	N	H
Situation en altitude	a ₁	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99
	b ₁	15	6	21	16	17	20	32	17	28	23	25	7
	c ₁	22	21	17	17	28	15	13	11	9	3	28	31
	c ₂	16	12	21	16	17	19	18	13	21	26	10	16
	c ₃	50	54	50	60	43	41	61	44	62	63	58	52
	c ₄	9	11	8	8	10	23	3	30	3	7	0	0
Situation en surface	j ₁₋₂₋₃	50	23	52	43	47	51	40	43	21	9	10	1
	l ₁	80	92	77	85	73	77	79	86	83	96	71	90
	o ₁	18	21	19	99	15	9	8	1	12	0	0	0
	o ₂	5	2	5	3	4	0	3	1	3	0	0	0
	o ₃	30	34	22	41	26	22	42	39	50	62	38	40
	o ₄	5	8	5	8	4	7	6	34	12	11	10	38
Circulation en surface	k ₁	33	32	31	45	36	24	30	14	21	19	12	22
	k ₂	26	32	29	25	28	37	28	18	18	25	15	19
	k ₃	24	26	19	13	17	11	16	18	15	21	5	4
	k ₄	11	7	12	13	10	18	20	47	43	33	66	53
	m ₁	5	3	5	10	6	8	5	3	9	19	5	5
	m ₂	57	31	35	37	36	39	33	44	31	25	30	30
	m ₃	28	51	29	37	26	26	35	30	40	37	30	39
	m ₄	1	1	1	0	0	0	1	0	3	0	2	1
Etat du ciel	r ₂	18	3	21	12	4	3	22	17	12	3	25	29
	r ₃	30	50	35	48	32	37	15	37	34	32	17	36
	r ₄	35	31	28	26	32	26	27	8	12	24	20	3
	r ₅	11	11	12	11	30	38	28	35	34	37	30	39

Légende : Voir TAB. 8.2

méditerranéens, ne se traduisent pas en hauteurs exceptionnelles, même si elles représentent plus de 50 % des lames d'eau. En Aquitaine, les pourcentages, très élevés, donnent à cette classe le premier rang. Les chutes sous un flux d'est opposent les deux Midis; relativement plus fréquentes en Aquitaine, elles demeurent cependant modestes, généralement inférieures à 10 %; dans le sud-est, ces chutes sont pratiquement inexistantes, sauf en Roussillon, proche de l'Aquitaine centrale.

Les précipitations par situation anticyclonique en surface ont des fréquences peu différentes de celles calculées pour l'année; une seule exception, la côte d'Azur où les pluies sont très rares, et surtout peu copieuses. L'indigence des lames d'eau est un caractère général à l'ensemble des postes méridionaux, sauf en Aquitaine centrale et en Roussillon.

Le modèle norvégien des perturbations frontales est souvent peu satisfaisant pour expliquer l'origine des précipitations; plus de 20-25 % des chutes sont indépendantes de ce schéma classique. Certes, pour les lames d'eau les pourcentages sont moins élevés, mais en été, le modèle norvégien est peu convainquant, non seulement au début et au coeur de la saison sèche, mais même encore en septembre, notamment en Aquitaine.

Les pourcentages définis pour les averses classées suivant la nature des fronts sont très caractéristiques de l'été. Les perturbations complètes, presque aussi fréquentes qu'au cours de l'année en Aquitaine, apportent des hauteurs d'eau nettement inférieures. Sur les rivages méditerranéens, la part de ces chutes décroît d'ouest en est, et leur influence devient pratiquement nulle dans le golfe de Gênes, moins de 5 % à Nice. Les fronts chauds, inefficaces, donnent des pluies négligeables dans le sud-est, et très faibles en Aquitaine, moins de 10 %; ce caractère persiste pendant toute la saison estivale, y compris en septembre. Les fronts

froids, cause d'un grand nombre d'averses, occupent toujours le premier rang; en outre, les hauteurs recueillies sont copieuses, plus de 60 % des lames d'eau à Marignane. En Aquitaine, spécialement dans les pays toulousains, le rôle de ces fronts froids est moins important. Les fronts occlus à l'origine d'une partie importante des précipitations dans les stations méditerranéennes, fournissent plus du tiers des lames d'eau à Perpignan et Nice; dans le sud-ouest, les pourcentages des chutes et des hauteurs d'eau associées, égaux à ceux de l'année, n'atteignent pas 10 %.

La trajectoire des perturbations ne semble pas être un facteur très discriminant. Les courants perturbés de nord sont moins fréquents dans l'ensemble des Midis, sauf dans le bas-Rhône; les pluies de ces perturbations, peu importantes, constituent moins de 10 % des hauteurs mensuelles. Les courants perturbés d'ouest plus nombreux, occupent le premier rang dans de très nombreuses stations, particulièrement en Aquitaine. Cette anomalie positive s'explique par les marges sud ou les traines de perturbations d'ouest circulant sur des voies septentrionales; elles donnent quelques ondes sur ce Midi océanique mais les hauteurs sont généralement médiocres. Les courants de sud, un peu moins fréquents pendant l'été qu'au cours de l'année, donnent les hauteurs d'eau importantes en Aquitaine océanique, 51 % à Bordeaux, deux fois plus que le pourcentage annuel. Les courants perturbés d'est demeurent toujours accidentels dans toutes les régions.

La trajectoire des flux constitue encore un élément important de différenciation. Les flux de nord circulent sur un continent surchauffé et s'accompagnent souvent de pluies; les pourcentages sont élevés en Aquitaine littorale et à l'est du Rhône, 45 % des lames d'eau à Biarritz. Les précipitations par flux d'ouest, moins fréquentes dans les stations du sud-ouest, sont

au contraire relativement plus nombreuses dans les postes du sud-est; dans toutes les stations méditerranéennes, les hauteurs d'eau correspondantes sont comprises entre 15 et 25 %, apport non négligeable. Par flux de sud, les précipitations sont relativement moins fréquentes, constatation surprenante, mais l'augmentation des chutes par flux d'est correspond le plus souvent à des remontées chaudes de sud déviées. D'autre part, les précipitations par flux non organisés, sans composante évidente, deviennent plus nombreuses en liaison avec l'installation de marais barométriques.

CONCLUSION

Deux séries de conclusions, les unes méthodologiques et les autres de fond apparaissent :

- Pour expliquer non seulement la hauteur, mais même la simple occurrence des précipitations, aucun élément n'est déterminant; la très grande majorité des valeurs des chi-deux attestent l'indépendance entre les facteurs isolés et la présence de pluie. D'autre part, les facteurs se compensent, en évoluant dans des sens différents; l'exemple le plus typique concerne le doublet pression et courbure des flux en altitude; quand les hautes pressions s'accroissent notamment en été, la majorité des averses sont enregistrées sous des flux à courbure cyclonique, et inversement quand les averses associées à des basses pressions sont plus nombreuses, le critère courbure cyclonique devient moins impératif.

Cette première conclusion méthodologique n'est pas surprenante en elle-même, mais les conséquences logiques sont importantes. Toute classification des types de situation-circulation fondée sur un ou deux critères est une erreur, quel que soit le paramètre retenu, opposition classique haute-basse pression ou trajectoire des perturbations... La classification des types de situa-

tion-circulation est un problème multidimensionnel, et doit être traité en tant que tel.

L'analyse de l'abri aérologique à travers les facteurs retenus est imparfaite, mais le rattachement à la zone tempérée des Midis est discutable; indéniable par les régimes des pluies et des températures, au niveau des mécanismes, notamment en altitude, l'abri aérologique est dominant, et les conditions anticycloniques tyrraniques en été sont encore majoritaires en hiver. Il n'est pas impossible de résoudre totalement ce problème dans cette thèse. Les analyses discriminantes doivent permettre de qualifier et de dessiner des limites "zonales" précises.

Les différentes analyses séparatives montrent la double appartenance du Roussillon, région méditerranéenne par de nombreux caractères, elle est souvent une simple annexe de l'Aquitaine centrale.

Les résultats de ces analyses varient souvent d'ouest en est, particulièrement sur les rivages méditerranéens, expliquant les variations ouest-est surprenantes, constatées dans les deux premières parties, par exemple la variabilité des hauteurs annuelles moyennes.

QUATRIEME PARTIE

LES MECANISMES PLUVIOMETRIQUES
ETUDE DES COMPLEXES

Cette quatrième et dernière partie propose une démarche objective pour appréhender les mécanismes pluviométriques dans leur complexité et leur variété. Une classification multidimensionnelle et en aval une analyse de structure constituent une première phase. La pauvreté des paramètres disponibles, explique les longues descriptions ultérieures où des documents annexes, parcellaires mais fondamentaux sont utilisés. Une troisième phase, est consacrée à l'étude des relations entre les situations-circulations et les caractères de la pluviosité. Avant la synthèse finale, il est apparu nécessaire de montrer au lecteur l'inadéquation du modèle norvégien, et de présenter une introduction à l'analyse causale directe, mathématique, sur des paramètres déterminants. La brièveté des séries interdit de présenter des résultats plus assurés, bien que cette voie soit pleine de promesses.

C H A P I T R E N E U F

CLASSIFICATION ET STRUCTURE DES SITUATIONS
CIRCULATIONS PLUVIEUSES

Tous les résultats du précédent chapitre montrent qu'aucun facteur isolé ne provoque des pluies, et un essai de classification multidimensionnel doit donc être tenté. Après avoir recensé les avantages et inconvénients des typologies empiriques et des typologies objectives, les techniques de classification sont rappelées. La valeur d'une classification dépend de sa logique interne, et des paramètres retenus. Ce choix est dicté par le but fixé : expliquer les caractères des précipitations dans cette thèse. Les techniques et les variables disponibles sont des critères plus ou moins limitants. Depuis deux ans les limites techniques ont reculéées, mais les paramètres sont encore discutables.

Après avoir obtenu des classes, leur structure est définie, car les résultats des classifications sont bruts, dépourvus d'explication. L'analyse de structure doit permettre de comprendre les mécanismes généraux, les relations internes de chaque type de situation.

Cette double démarche, classification puis analyse de structure, nécessite, outre l'emploi de techniques très élaborées, des définitions opérationnelles strictes; ces dernières font l'objet des premières réflexions méthodologiques.

9-1 REFLEXIONS METHODOLOGIQUES9-1-1 DEFINITIONS

- Types de temps, de situation, de circulation...

* La définition «classique» des types de temps a pour fondement la théorie norvégienne remise en cause.

En l'absence d'une théorie de remplacement, les définitions ne peuvent être que méthodologiques, formelles.

Les problèmes relatifs à la classification des figures synoptiques ne sont pas neufs; les ouvrages de J. Bluthgen, R.G. Barry et A.H. Perry attestent la diversité des solutions retenues (1). Avant de rechercher les forces et faiblesses de ces travaux, les types de temps, de situation, de circulation... doivent être définis avec précision. Ces définitions opérationnelles sont fondées sur la notion d'échelle, thème sous-jacent à toutes les études de climatologie synoptique.

Les concepts type de temps, de situation... sont fonction de trois échelles : spatiale, temporelle, et méthodologique. L'échelle spatiale des complexes géographiques, très fine, a été décrite par de nombreux auteurs, notamment J. Tricart, R. Brunet et J.P. Ferrier (2). Ils distinguent les paliers : zone, aire, domaine, province, région... Bien que l'étude de certains climats soit plus représentative à certains paliers, cette échelle est globalement acceptée; les lois de distribution et de composition, analysées dans les deux premières parties, s'inscrivent dans des espaces de taille spécifique. Telle loi valable pour un palier donné n'est pas vérifiée à échelle plus petite.

Les météorologues distinguent seulement deux paliers, synoptique et aérologique. Les particules synoptiques ont des dimensions horizontales de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres, tandis que les particules aérologiques ont des dimensions de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ces distinctions sont impor-

(1) J. Bluthgen, Allgemeine klimageographie (38)

R.G. Barry, A.H. Perry, Synoptic climatology (33)

(2) J. Tricart, Principes et méthodes de la géomorphologie (25)

R. Brunet, Les phénomènes de discontinuité en géographie (8)

J.P. Ferrier, L'espace, l'aménagement et la géographie (10).

tantes; de nombreux concepts météorologiques n'ont de valeur qu'à une échelle donnée. Cette échelle est imprécise, et de nombreux phénomènes comme les masses d'air ne correspondent réellement à aucun palier. La généralisation spatiale à partir de données aérologiques est dangereuse.

La disharmonie entre les deux échelles spatiales, géographique et météorologique, constitue une difficulté supplémentaire, d'autant plus que certains phénomènes comme la convection sont difficiles à classer. En été, la convection peut caractériser une vaste cellule d'air stagnant dans un marais barométrique (échelle synoptique), mais les ascendances réelles sont limitées à des tours (échelle aérologique).

Aucune échelle temporelle systématique n'a été établie. En climatologie, le temps peut être découpé en fonction de critères absolus ou mieux encore relatifs. Cette seconde solution, illustration plus fidèle du "réel", nécessite une longue pratique; elle se heurte à de nombreuses contraintes, et le nombre de cycles proposé par les auteurs est étonnant.

Les rythmes annuels et diurnes sont les deux réalités physiques les moins contestés. Entre ces deux paliers s'intercalent la séquence et la saison. Les divisions saisonnières, spécifiques pour chaque climat, ne peuvent pas être fixées a priori comme le démontrent les résultats du chapitre trois et les travaux de CH. P. Peguy. La durée des séquences est aussi variable; l'analyse des index de circulation et de l'occurrence des centres d'action semble montrer que la pentade est plus proche du réel que la décade officiellement recommandée. Ces résultats partiels, moyens, n'excluent pas une très grande variabilité, spécialement en été.

Au-delà de l'année, la normale ou moyenne de trente ans a une valeur statistique indéniable, car trente

unités sont considérées comme un échantillon minimum pour le traitement des différentes distributions. Cependant, l'analyse de la variabilité séculaire conduite avec des tranches de trente ans, n'a pas de valeur scientifique. Ainsi, mis à part les rythmes annuels et journaliers, les autres paliers sont tous très imparfaits.

L'échelle méthodologique comprend quatre classes, types de temps, de situation, de circulation et d'état. Un type de temps est la combinaison des éléments du climat, températures, précipitations, vents... (3). Ce concept, essentiellement descriptif, apporte une réponse à la question comment. Cette définition est différente de celle proposée par P. Pedelaborde qui insiste essentiellement sur l'échelle spatiale, en distinguant type de temps et type de situation (4).

Un type de temps n'est pas la simple accumulation de données séparatives, et il ne doit pas être appréhendé par des indices. Les sommes d'indices et d'opérations semblables n'ont pas de valeur discriminante. Un indice Ia = 162 obtenu par la somme de deux indices peut être le résultat de Ib = 160 et Ic = 2 ou Ib = 2 et Ic = 160. Trop nombreux sont les travaux relevant de cette alchimie; la pondération parfois proposée, introduit un peu plus de subjectivité, donc d'arbitraire. La confection d'indices n'a de valeur que relative, pour déceler des nuances sur un espace homogène, à grande échelle. Les analyses multidimensionnelles, de surface de tendances, et les graphes sont des outils plus efficaces pour représenter synthétiquement des complexes types de temps.

(3) Définition retenue aux journées climatologiques de Grenoble en 1973.

(4) P. Pedelaborde, Le climat du bassin parisien (60).

Le type de situation, second concept, intègre les éléments météorologiques "statiques" comme la forme, la position, l'intensité des centres d'action, les caractères structurels des masses d'air et des perturbations.. Cette liste n'est pas exhaustive et les paramètres varient suivant les échelles temporelles et spatiales, et le but à atteindre. Le type de situation, qui ne correspond pas au grosswetter des auteurs allemands, est donc une réponse statique à la question POURQUOI. Complexe d'éléments, le type de situation doit être soumis aux mêmes traitements techniques que le type de temps.

Le type de circulation, troisième ensemble, intègre les éléments dynamiques, trajectoires des centres d'action, des perturbations, des fronts, des flux et les variations temporelles de l'intensité des paramètres. Ces types sont une réponse dynamique et non statique à la question POURQUOI. La distinction type de situation-type de circulation peut sembler arbitraire, mais elle est pratique; en outre, suivant les échelles spatiales et temporelles, les faits de situation et de circulation ont un pouvoir explicatif plus ou moins grand.

Le type d'état désigne le groupement des trois types définis ci-dessus; il n'est pas la simple addition des trois complexes, mais représente un ensemble d'ensembles plus riche. Il intègre tous les éléments, mais les relations internes plus nombreuses peuvent gêner la démarche scientifique.

A partir de ces trois échelles, un bloc matriciel peut être dressé (Fig 9.0), dont chaque casier est défini par des adjectifs ou des termes précis; ainsi, le casier s_1 est intitulé type de situation régionale journalière. Un grand nombre de ces casiers sont peu intéressants, parfois même inutiles, en l'absence de données ou de difficultés de traitements; comment décrire un type de temps régional séculaire et pourquoi ? Cependant, les a priori restrictifs sont toujours dangereux en science.

Dans ce travail où les précipitations sont le seul objet d'étude, le concept de type de temps n'est pas utilisé; l'analyse des types d'état est donc obligatoirement exclue. Les deux volets à la réponse POURQUOI, type de situation et de circulation, sont regroupés. Cette combinaison est décrite à l'échelle journalière, la mieux adaptée à un travail ultérieur. La classification, étape initiale et non pas finale, entraîne le choix du palier journalier plutôt que séquentiel, même si la réalité est moins bien prise en compte.

- Des systèmes ouverts

Les situations-circulations obéissent à la théorie des systèmes ouverts. Si pour l'homme du commun la théorie s'oppose au réel, aux faits, pour le scientifique une théorie est le moyen le plus élaboré pour comprendre et expliquer le réel. Une théorie, ensemble cohérent de propositions démontrées ou vérifiées, comprend des lois, des principes internes, et des principes externes; les derniers lient la théorie aux faits.

Une théorie a une triple fonction : déductive, prédictive et heuristique; ce dernier terme signifie qu'elle permet d'approfondir et de faire progresser la recherche. La théorie des systèmes ouverts a un très fort pouvoir heuristique, même si elle n'est pas formulée en termes mathématiques, comme le montrent de très nombreux travaux.

Si cette théorie, appliquée aux situations-circulations, n'est pas fausse, deux déductions logiques doivent être admises; la première concerne les relations entre systèmes d'échelle différente. Tous les météorologues admettent que les mécanismes à une échelle donnée sont à l'origine ou du moins dirigent les systèmes du niveau inférieur; R.C. Sutcliffe écrit ainsi : "Les effets des systèmes à petite échelle sur ceux à grande

échelle sont faibles et peuvent être négligés dans la pratique" (5). Cette théorie n'est pas fausse, mais elle est incomplète; la théorie des systèmes ouverts suppose non seulement des relations dans ce sens, mais aussi en sens inverse : les mécanismes locaux peuvent fortement modifier les mécanismes régionaux. Cette déduction logique devra être démontrée, au moins partiellement, par des exemples.

La seconde déduction logique est encore plus surprenante. Si les situations-circulations sont des systèmes ouverts, il faut admettre que la météorologie classique est inadaptée; elle ne permet pas de résoudre les problèmes relatifs aux précipitations. La météorologie classique est en effet dépendante de la physique traditionnelle, réversible, dont les lois ont été formulées sur des systèmes fermés, notamment la loi d'entropie ou seconde loi de la thermodynamique.

Cet a priori théorique peut choquer, mais il n'y a pas de science sans théorie. Depuis plusieurs décennies est née une physique irréversible, applicable aux systèmes ouverts. Des météorologues, notamment G. Dady, opposent les transformations isentropes irréversibles aux transformations adiabatiques, et admettent que les lois de la météorologie classique sont valables uniquement pour les systèmes fermés (6).

Cette théorie des systèmes ouverts n'est donc pas neuve; pour la vérifier il faudra démontrer l'existence de relations entre les systèmes locaux-régionaux et les systèmes d'échelle plus grande. D'autre part, de nombreux scientifiques ont proposé des lois déductives, notamment celle d'équifinalité : deux résultats identiques pouvant être provoqués par des systèmes dont les

- (5) R.C. Sutcliffe, Les problèmes fondamentaux de la prévision météorologique (100).
- (6) G. Dady, Météorologie dynamique et prévision numérique (33).

structures sont différentes. On peut essayer de vérifier cette loi dans l'analyse descriptive des types de situation-circulation. En cas de succès, la théorie n'est pas fausse.

9-1-2 LA CLASSIFICATION DES SITUATIONS-CIRCULATIONS

La valeur d'une classification dépend des techniques employées et des paramètres retenus. La classification des figures isobariques est la première étape de toute étude synoptique; elle doit être l'objet de soins particuliers, car incorrecte ou illogique, elle débouche automatiquement sur une analyse partielle et erronée du climat. Les premières classifications, empiriques, ont été établies dès le dix neuvième siècle par les météorologues; depuis 1960 des typologies objectives, automatiques, sont dressées.

9-1-2-1 Classifications empiriques et classifications objectives

- Les classifications empiriques

Les classifications empiriques se sont multipliées, et nul ne peut prétendre toutes les connaître; cette prolifération traduit d'ailleurs les limites de leur valeur. Un premier groupe d'auteurs ont classé des figures statiques, des situations; ainsi, après les premiers travaux de Koppen, E. Gold a décrit quinze types et vingt huit sous-types de schéma de pression sur les Iles Britanniques et les contrées voisines; l'orientation des isobars et la position des centres majeurs, sont les deux caractères discriminants retenus (7).

(7) E. Gold, Aids to forecasting : types of pressures distributions with notes and tables for the fourteen years 1905-1918 (53).

Après avoir souligné le caractère artificiel mais utile de leur classification, les auteurs de *Weather in the Mediterranean* (8) distinguent cinq grands types de situations suivant la position relative des anticyclones, les dépressions n'étant pas directement prises en compte.

Un second groupe de typologie est fondé sur des éléments dynamiques; W.J. Van Bebber a classé les dépressions sur l'Europe d'après leur trajectoire. Cet auteur, en avance sur son temps, écrivait : "La connaissance de la puissance des minima, de leur direction, vitesse et variation, de leur influence sur le vent et le temps, en tenant compte de la saison et de la répartition géographique, tout ceci correspond à ce que nous rassemblons sous le terme de climatologie des perturbations" (9). Van Bebber classa ainsi les trajectoires des dépressions et non celles des perturbations.

Plus récemment, la circulation en altitude a retenu l'attention des chercheurs. J. Mertz distingue des "régimes" sur les Alpes d'après la courbure des isohypses à 500 mb et la direction des flux (10). Les hauteurs de précipitations sont rapportées à ces schémas; le régime de sud-ouest, le plus fréquent, s'observe en toute saison. P. Pedelaborde et H. Delannoy retiennent aussi la circulation en altitude comme facteur de discrimination pour expliquer les précipitations en Algérie (11).

(8) *Weather in the Mediterranean* (123)

(9) W.J. Van Bebber, *Typische Witterungs Erscheinungen* (79)

(10) J. Mertz, *Essai de classification des types de temps sur les Alpes d'après la disposition des isohypses à 500 mb.*

(11) P. Pedelaborde et H. Delannoy, *Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie* (116).

Les classifications proposées par H.H. Lamb ou P. Hess et H. Brezowsky sont plus complexes (12). Ces derniers ont complétés la typologie originale de Baur, en introduisant les données d'altitude et en distinguant les grosswetterlagen et les grosswettertypen. De longs calendriers disponibles sont remis à jour périodiquement.

La typologie d'A. Gazzola représente une des formes les plus achevées des classifications empiriques. L'auteur définit 22 schémas au sol et à 500 mb, soit 484 combinaisons possibles; seuls 56 % des types ont été réellement observés sur les cartes. D'autre part, il introduit la continuité temporelle et étudie l'évolution des différents types. Enfin, les hauteurs de pluie sont rapportées à ces classes en employant le test du chi-deux (13).

Les classifications empiriques, quelle que soit leur degré de précision, présentent de graves lacunes. Généralement elles ne respectent pas toutes les règles logiques. Sans énumérer les dix principes à suivre, rappelons que chaque classe doit être différente de toutes les autres, évidence rarement respectée. Les auteurs de Weather in the Mediterranean en écrivant que les types A et B peuvent se combiner avec le type C indiquent la faiblesse logique de leur classification (14). Plus fréquemment la règle "à chaque niveau doit correspondre un et un seul caractère" n'est pratiquement jamais respectée; ainsi M. Cadez présente quatre types fondamen-

(12) H.H. Lamb, British Isles weather types and a register of the daily sequence of circulation patterns 1861-1971.

P. Hess et H. Brezowsky, Katalog der grosswetterlagen Europas.

Cités dans R.G. Barry et A.H. Perry, Synoptic climatology (33)

(13) A. Gazzola, Premiers résultats sur l'analyse des précipitations en Italie suivant les situations météorologiques (51)

(14) Weather in the Mediterranean (123).

taux, anticyclonique, advectif, cyclonique et convectif (15). En réalité ces critères ne sont pas du même niveau et cette classification est donc incomplète car non logique.

D'autre part, les typologies empiriques intègrent au plus trois paramètres, souvent moins; ces caractères doivent être déterminants, hypothèse jamais vérifiée, car contraire à la complexité des systèmes aérologiques. Un système fermé peut parfois être classé d'après une ou deux caractéristiques, mais la perte d'information et la réduction est trop grande pour les systèmes ouverts, type de temps, de situation...

L'exemple des types de situation perturbée classées selon la trajectoire des perturbations en Méditerranée, est un exemple probant. Une perturbation de nord-ouest avec des flux de même direction s'accompagne presque toujours d'un temps magnifique, lumineux et chaud en cours de journée. La même perturbation, mais avec des flux de sud dans le secteur chaud, peut provoquer d'énormes chutes. Une classe contenant deux unités aussi différentes, n'est pas homogène; elle illustre l'imperfection de cette typologie.

Un autre défaut est l'indétermination spatiale et temporelle des limites de classe; les types mixtes, qualifiés de divers, sont d'autant plus nombreux que la typologie, plus précise, comprend plus de classes. La classe divers, fourre tout, atteste aussi l'imperfection de ces analyses. Les difficultés atténuées dans les classifications objectives, ne disparaissent jamais totalement.

La faiblesse de ces typologies peut être doublement démontrée; l'établissement de prédictions à partir des résultats et la comparaison avec les données réelles obtenues est un premier test. Très rares sont les

(15) M. Cadez, Sur une classification des types de temps (42).

classifications utilisées pour la prévision; celle de M. Schuepp, opérationnelle en Suisse, constitue une exception (16). D'autre part, les tests statistiques fondés sur la comparaison des moyennes et des écarts-types sont des solutions très rapides. Sur deux ou trois échantillons d'une même classe peuvent être calculés les moyennes et écarts-types. Une analyse de variance permet d'affirmer pour un seuil de probabilité fixé que les moyennes sont semblables ou appartiennent à deux populations différentes. Si les paramètres sont significativement différents, la classe non homogène est donc très mal définie. C'est ainsi que fut démontrée la faiblesse des classifications relatives aux situations alpines. En fait, de tels travaux, longs et fastidieux, sont partiellement inutiles : les classifications empiriques, uni ou bidimensionnelles, sont obligatoirement incomplètes. Cette condamnation s'adresse à des travaux et non à des chercheurs; oeuvrant vingt ans auparavant, sans ordinateur disponible, l'auteur de cette thèse aurait été lui aussi dans l'obligation d'établir une classification empirique.

- Les classifications objectives

Une classification objective peut être conduite suivant deux procédés; une première démarche, descendante, divise l'univers, au sens mathématique du terme, en appliquant successivement différents critères. Les unités à classer sont ensuite rapportées aux types successifs. La classification des années sèches et humides, dans le quatrième chapitre, illustre cette technique. Quand le nombre de variable augmente, les classes se multiplient très rapidement, en progression géométrique. Dans une typologie dichotomique, pour n caractères ne prenant que deux valeurs, on obtient 2^n clas-

(16) M. Schuepp, Die klassifikation des witterungslagen (72).

ses; cinq paramètres déterminent donc 32 classes, tandis que dix en donnent plus de 1 000. D'après la règle de Brooks il faut alors disposer de quelques milliards d'unités à classer. La classification descendante, utilisée pour les problèmes simples comprenant moins de cinq variables, est inadaptée à l'étude des types de situations-circulations.

Les classifications ascendantes corrigent ce défaut; la démarche suivie est inversée, les unités à classer sont regroupées par emboîtement successifs. Cette analyse inductive, plus conforme à l'esprit de la géographie, nécessite l'emploi de l'ordinateur : "Pour analyser des faits complexes et notamment des faits sociaux, l'ordinateur est indispensable. Principe évidemment vrai... mais qu'en eussent pensé nos pères les Gaulois il y a 15 ans ?" (17)

Il est impossible de reproduire tous les algorithmes de classification, car chaque année de nouveaux sont livrés. La première phase consiste à comparer les individus à classer deux à deux selon un coefficient d'association; ces coefficients se multiplient et leur prolifération traduit un souci constant de progrès. La matrice d'association est ensuite l'objet de traitements variables.

Dans le linkage analysé, les couples de variables les plus fortement associées ou corrélées donnent les classes initiales. Si dans une matrice de corrélation de douze variables, v_2 a un coefficient de corrélation positif maximum avec v_9 et si de même r_{9-2} est la corrélation la plus forte pour la variable neuf, ces deux variables forment une paire réciproque. Il y a autant de classes que de paires de variables réciproques. Cette première phase achevée, les variables restantes sont

(17) J.P. Benzecri, L'analyse des données T2 (6).

successivement agglomérées aux différents noyaux, en tenant toujours compte des corrélations positives les plus grandes. Pour classer non pas des variables, mais des objets comme les situations-circulations, une simple transposition de la matrice initiale des données suffit : les corrélations ou autres indices d'association sont calculées entre les objets et non pas entre les variables.

Cet algorithme, très simple, peut être effectué manuellement si le nombre d'objet est faible; en contre partie il offre de sérieux inconvénients. Le nombre de classes, fixé automatiquement par les paires réciproques, est indépendant de la règle de Brooks. D'autre part, l'algorithme ne retient que les associations positives, les corrélations négatives n'étant pas prises en compte. Les paires réciproques étant définies, toutes les variables ou les objets sont rattachés à ces noyaux, même si les coefficients de corrélation, voisins de zéro, ne sont pas significatifs; le processus mathématique conduit alors à un non sens.

La chaîne analyse factorielle Q-mode - analyse discriminante, employée dans le chapitre trois pour classer les stations en espaces homogènes, n'est plus applicable. Premièrement, les 3 900 situations-circulations ne peuvent pas passer dans les ordinateurs actuels, y compris les IBM 370 de la dernière génération. D'autre part, définir des classes dans un nuage de 390 projections constitue une démarche très subjective; enfin l'analyse discriminante n'était pas possible sur les variables initiales, non cardinales. On ne dispose pas encore d'analyse discriminante pour les variables ordinales et nominales, bien que l'analyse de variance de Wallis puisse être utilisée.

Les algorithmes présentés par J.P. Benzecri (18)

(18) J.P. Benzecri, L'analyse des données T1 (5).

constituent un exemple de la "nouvelle informatique-statistique". Dans un même programme, publié malheureusement avec quelques erreurs, plus de quarante techniques de classification ascendante sont proposées au lecteur. Ce résultat est obtenu en faisant varier la métrique choisie, chi-deux, euclidienne... et le coefficient d'association, de jacquart, de corrélation... Mais ce programme ne peut pas traiter plus de trois cents objets (19).

Pour éviter ces contraintes, les situations-circulations ont été classées selon la technique des nuées dynamiques, mise au point en 1972 par E. Diday (20). Sans entrer dans le détail de la formulation mathématique, voici les principales démarches techniques. Le nombre des classes est fixé a priori; douze ont été définitivement retenues pour se conformer à la règle de Brooks; après un essai négatif qui faisait apparaître une classe vide en demandant treize types. Chaque classe est ordonnée autour d'un noyau comprenant des individus statistiques ou étalons. Le nombre total des étalons devant représenter environ le cinquième des individus à classer, 720 étalons ont été répartis à raison de 60 pour chacun des douzes noyaux. Ces étalons peuvent être fixés a priori ou tirés au hasard; la seconde solution, moins subjective et qui ne nécessite aucune hypothèse sur l'ordre des situations-circulations, a été préférée.

Autour de ces noyaux les individus sont agglomérés par itérations successives. La ressemblance entre individus et noyaux est mesurée par la distance du chi-deux;

(19) Tous les programmes de classification utilisent beaucoup de place en mémoire, non seulement à cause des tableaux, mais aussi des tris. Au-delà de 250 objets, des solutions extrêmes doivent être exclues des programmes.

(20) E. Diday, Optimisation en classification et reconnaissance des formes (9).

elle rapproche les situations-circulations ayant le même profil. Chaque nouvelle agglomération provoque la restructuration plus ou moins globale des noyaux et des classes; des étalons demeurent stables, à l'intérieur du noyau initial, d'autres deviennent de simples éléments de classe ou sont même rejetés dans une autre classe. Chaque noyau est de plus en plus compact; les distances entre étalons d'un même noyau diminuent. Les classes ont une évolution identique, et elles sont de mieux en mieux discriminées. Cette mise en ordre totale est plus ou moins rapide; la rapidité est mesurée par le nombre d'itérations. A la fin de cette première étape, tous les individus sont classés et chaque noyau initial est remplacé par un noyau final où les étalons sont les situations-circulations pluvieuses les plus représentatives de chaque classe.

On pourrait objecter que cette classification finale dépend du tirage initial; effectué au hasard il représente un "optimum local". Il est logique d'admettre qu'un tirage différent donnerait d'autres résultats; aussi le programme boucle-t-il sur lui-même de façon à générer plusieurs classifications successives. Chaque nouveau tirage, détermine le même nombre de classes, douze dans ce texte, mais ne comprenant pas obligatoirement les mêmes individus. Le nombre de classifications initiales est fixé par le chercheur, guidé par les variations du nombre d'itérations; huit ont été demandées dans cette recherche.

Trois solutions permettent de choisir la meilleure classification. Le programme donne une valeur de convergence pour chaque optimum local; aux valeurs les plus faibles correspondent les meilleures classifications. Le choix est parfois difficile, quand les valeurs du critère sont très proches.

Une seconde solution dépend de l'analyse des variances. Dans une bonne classification, les individus

doivent être très ressemblants à l'intérieur de chaque classe, et inversement les individus de classes différentes doivent être le moins ressemblants possible. En terme mathématique, ce principe logique est traduit par l'analyse de variance; il faut maximiser la variance entre les classes, interclasse, et minimiser la variance à l'intérieur de chaque classe, intraclasse.

La dispersion interne de chaque noyau et de chaque classe, mesurée par la variance, indique la ressemblance entre les individus : moins la variance est forte, plus les situations-circulations se ressemblent; l'homogénéité de chaque noyau et de chaque classe est donc d'autant plus grande que la variance est faible (21). Inversement, une forte variance témoigne d'une grande hétérogénéité à l'intérieur de la classe. La comparaison entre les douze variances montre donc quelles sont les classes homogènes et les classes composites moins satisfaisantes. Cette analyse sur les huit classifications initiales est très riche d'enseignement.

D'autre part, les douze distances entre points moyens des noyaux et points moyens des classes correspondantes indiquent la ressemblance entre les étalons finaux et les autres éléments des classes associées. Plus la distance est faible, plus les étalons sont représentatifs. Enfin, les distances entre les douze classes et celles qui séparent les douze noyaux mesurent l'importance de la discrimination. Plus ces distances sont élevées, plus les classes sont distinctes, et donc meilleure est la classification.

- (21) Pour obtenir les véritables variânces, il faut diviser les valeurs écrites, par le nombre d'individus de chaque noyau ou chaque classe. Ce calcul peu utile pour les noyaux qui comprennent le même nombre d'individus est obligatoire pour la variance intraclasse.

La troisième solution ordonne les intersections des classifications initiales obtenues. Deux individus appartenant toujours aux mêmes classes sont regroupés ensembles. Un nouvel algorithme donne ainsi une nouvelle classification qui distingue les formes fortes toujours intégrées dans les mêmes classes et les formes faibles moins stables. Cette troisième solution, la plus employée, est imparfaitement logique, démonstration qui dépasse le cadre de cet ouvrage.

Cet algorithme des nuées dynamiques offre de nombreux avantages. Premièrement, il est possible de retenir la meilleure classification. D'autre part, la rigidité des classes n'est pas tyrannique, et une option prévoit même l'obtention de classes chevauchantes. Deux causes principales ont cependant guidé notre choix. C'est le seul algorithme de classification ascendante permettant d'analyser plus de 300 situations synoptiques pluvieuses, cinq ans dans les six stations tests de Bordeaux, Biarritz, Toulouse, Perpignan, Marignane et Nice. En outre, les données étant codées, la ressemblance entre deux situations-circulations ne peut être appréhendée qu'avec certaines métriques; celle du chi-deux, retenue, présente aussi l'avantage de faire apparaître les situations-circulations exceptionnelles.

9-1-2-2 Le choix des paramètres

La valeur d'une classification dépend de sa logique interne, mais aussi des paramètres intégrés, choisis en fonction de l'objectif à atteindre : classer les situations-circulations pluvieuses. Les précipitations dépendent de trois groupes de facteurs, les mouvements verticaux, le potentiel d'humidité et les bilans énergétiques. Ces trois ensembles de facteurs sont intercorrélés, notamment le potentiel hydrique et la température. Peut-on appréhender directement ces causes ?

Actuellement, la réponse est négative; seuls des paramètres de substitution sont disponibles.

Le refroidissement provoque la condensation, la transformation de la vapeur d'eau en gouttelettes, le point de saturation étant plus ou moins rapidement atteint. Les gouttes plus grosses, de 0,5 à 2 mm, se forment dans les ascendances par effet de Tor Bergeron ou de coalescence. Ainsi, "tous les facteurs qui contribuent à l'ascendance de l'air et à son refroidissement par détente seront donc en même temps responsables de la saturation et de précipitations plus ou moins copieuses" (22).

Les météorologues et climatologues distinguent plusieurs types d'ascendances suivant leur nature et leur échelle. A l'échelle synoptique, les ascendances frontales sont les plus décrites, car le modèle norvégien a été l'objet de recherches privilégiées. Le concept de front a évolué; déjà P. Pedelaborde recommandait de ne pas confondre le front polaire et les fronts de perturbations. Par rapport au modèle norvégien classique, la surface frontale est devenue une zone large d'au moins soixante kilomètres, plus intense en altitude. Le concept même de front a évolué; assimilé à une zone barocline il a donc une origine essentiellement dynamique. L'opposition de deux masses d'air, autre héritage du modèle norvégien, est abandonnée : la frontogénèse peut se développer au sein d'une masse d'air homogène.

Les caractéristiques des fronts froids ont été totalement modifiées par des analyses très fines; l'élévation de l'air chaud par la poussée froide n'est nullement générale et dans le sud-est anglais les fortes précipitations préfrontales ne sont pas directement

(22) P. Estienne et A. Godard, Climatologie (49).

* Ces paramètres ne sont pas des facteurs explicatifs, mais ils portent une information qui permet de «révéler» les facteurs.

liées à ces ascendances toujours décrites. Le refroidissement et la hausse de pression derrière un front froid ne se vérifient pas toujours, notamment en Méditerranée. Des fronts froids ont même été observés dans des masses d'air homogènes, à moyenne altitude, loin des centres dépressionnaires. Les anomalies au modèle frontal se multiplient et les cartes des BQE et BQR sont très incomplètes; la distinction n'est même pas établie entre catafronts où s'observent des mouvements descendants dans l'air chaud, et les anafrents où les ascendances classiques sont observées.

Le second mécanisme d'ascendance, à l'échelle synoptique, est constitué par la superposition d'une aire de divergence en altitude sur une zone de convergence en surface. Ces mouvements verticaux ont aussi une origine dynamique. Des relations existent entre ascendances frontales et de convergence, car elles sont l'apanage des basses pressions, mais il n'y a pas d'homothétie parfaite. Des décalages existent aux différents niveaux, et leurs effets peuvent s'additionner ou être indépendants; ainsi, les fortes pluies des 11-12 février 1975 en Méditerranée ont pour cause la conjonction des deux phénomènes (23).

Les advections froides en altitude, surplombantes au-dessus des reliefs existent aux échelles synoptique et aérologique. Contrairement aux deux mécanismes déjà décrits, ces ascendances ont une origine thermodynamique; le déséquilibre est provoqué par l'écart thermique entre les différentes couches. Ces gouttes ou talwegs ne sont pas obligatoirement déterminants comme le montrent les tests du chi-deux (chapitre huit) ou l'exemple du 1er janvier 1969.

La convection traduit aussi un déséquilibre thermique, un fort réchauffement à partir du sol des couches

(23) Remarques faites par A. Basset Terrusse.

basses. La chaleur est portée en altitude par des mouvements verticaux. En été, ce mécanisme peut se développer à l'échelle synoptique, dans les masses d'air qui stagnent dans un marais barométrique; mais les courants ascendants sont généralement limités dans l'espace, sous la forme de cellules plus ou moins vastes dépassant rarement l'échelle aérologique.

Les ascendances orographiques d'origine "géographique" sont formées aussi à des échelles différentes; les reliefs, statiques, ont des influences variables suivant l'épaisseur, la vitesse et la nature des masses d'air; la trajectoire par rapport aux lignes de relief constitue un des facteurs les plus importants. Les ascendances littorales, les microturbulences sont aussi causées par les variations du substrat géographique, mais leur action est à l'échelle de la parcelle aérologique.

Ces différents types de mécanismes peuvent se combiner expliquant partiellement les variations de durées et d'intensité des chutes. Par exemple, une advection froide peut surmonter un front froid qui heurte un relief : ascendances thermodynamiques, dynamique et orographique se combinent et s'additionnent. Inversement, des mouvements descendants peuvent bloquer plus ou moins rapidement des ascendances ayant une autre origine.

Les vitesses verticales, leur origine, et leur échelle seraient des paramètres idéaux pour quantifier ce facteur essentiel des mécanismes pluviométriques que sont les ascendances. Calculées depuis un an, elles constituent une série trop brève; cependant leur importance est telle pour la climatologie future qu'une analyse introductive est présentée au chapitre treize. La maille retenue, 180 ou 360 km, n'est pas assez fine pour appréhender les très nombreuses ascendances qui se développent à l'échelle de la parcelle aérologique.

Les ascendances sont donc décrites indirectement par de nombreuses variables tirées des BQE et BQR. Plus de dix variables, en altitude et en surface, donnent par leur combinaison une image satisfaisante du réel; ainsi par exemple, les ascendances dynamiques dues à la superposition d'une divergence en altitude sur une convergence de surface sont saisies par les pressions en altitude (a) et en surface (j), la courbure des flux en altitude (b), la structure des masses d'air (f)...

Le potentiel en eau n'est pas directement disponible; la tension de vapeur d'eau, l'humidité relative... mesurées au niveau du sol sont insuffisantes. La vapeur d'eau est un des constituants de l'air présentant les plus grandes variations spatiales, horizontalement et verticalement. Les sondages, toujours ponctuels, ne peuvent pas se prêter à une généralisation spatiale trop grande, sauf pour des situations classiques comme les fortes advections chaudes ou froides. Les modèles mathématiques établis par différents chercheurs aux Etats-Unis, celui mis au point à la météorologie nationale depuis quelques mois, sont imprécis car la maille retenue n'est pas assez fine.

Le potentiel vapeur d'eau est appréhendé indirectement par de nombreux paramètres; outre la tension de vapeur d'eau (g), les températures minima (h) et maxima (i) en surface, et la température à 500 mb (d) sont des indicateurs de second degré, car la teneur en vapeur est proportionnelle aux températures. Les paramètres masse d'air (e et f), et les trajectoires des flux en surface (k) et en altitude (c) complètent l'information. Un flux de nord en altitude et en surface, très froid, correspondant à une masse d'air de rayonnement atteste un faible potentiel de vapeur d'eau.

Le bilan énergétique, non moins complexe, est encore appréhendé indirectement. Les premières analyses par satellites, qui permettent de comparer les tempéra-

tures terre - mer - air, sont en nombre insuffisant pour être intégrées dans la classification. Les paramètres relatifs aux cellules d'air (e à i) et la direction des flux (c et k) constituent une information indirecte précieuse.

Au total le code général des indicateurs comprend 19 variables (24), dont

- 4 d'altitude
- 5 de masse d'air
- 9 de surface
- 1 d'extension spatiale.

Cette dernière variable, est le témoin de l'originalité de géographe attentif à l'étendue spatiale des complexes pluviométriques.

Tous ces indicateurs sont recueillis sur les BQE, les BQR, les CRQ, et les cartes masse d'air. Les sondages ne sont pas utilisés directement dans la classification; ponctuels, ils ne sont pas disponibles pour les six stations tests, et il n'est pas rigoureux de procéder à des interpolations spatiales. L'invariance des températures pseudoadiabatiques potentielles du thermomètre mouillé n'est nullement vérifiée sur de petites distances dans des masses d'air en fin de course comme celles qui envahissent la France méridionale.

L'analyse de stabilité et d'instabilité n'est plus guère pratiquée dans les centres météorologiques méridionaux. Des études précises, démontrent la prolifération d'advections d'origines différentes à de multiples niveaux; le concept de masse d'air simplifie trop le réel dans ce domaine limite. D'autre part, définir le type de stabilité est un travail trop long, pour les résultats obtenus; les cas extrêmes, stabilité absolue et instabilité absolue sont rarement observées sauf dans les schémas types comme les inversions. Définir le

(24) Voir annexe 1.

type d'instabilité sélective ne renseigne pas sur les mécanismes déclenchant les chutes. Enfin, l'analyse de stabilité correspond à l'échelle aérologique et il est délicat d'interpréter ces résultats à une autre échelle dans un domaine marginal. Tous ces défauts, notamment l'absence de sondage dans les postes tests, expliquent l'abandon de cette analyse pour la classification. Une advection froide en altitude sur une masse chaude en surface, appréhendée par les paramètres retenus, présente un pouvoir explicatif plus grand.

Un second groupe de facteurs, les masses d'air, mérite quelques réflexions. La classification géographique des masses d'air n'est pas satisfaisante pour étudier les pluies : "une masse d'air située entre le front arctique et le front polaire peut, en parcourant une même partie de l'Atlantique, subir des évolutions différentes suivant que son mouvement est convergent ou divergent. Une telle masse d'air aura droit sans conteste au titre de masse d'air polaire, mais le terme maritime peut couvrir déjà à la fois des masses d'air devenues instables et saturées par convergence et des masses d'air stables et sans nuage par subsidence" (25). Cette citation est parfaitement démonstrative. Les paramètres choisis (e à i), notamment les indicateurs du type et de la structure, ne reflètent pas la classification géographique.

Au total, 19 variables présentant 75 modalités constituent les critères de classification; cette typologie, impossible à effectuer manuellement, représente une rupture technique et méthodologique pour l'analyse des complexes aérologiques. Cependant, ce travail occupe une position charnière, car si les techniques sont parfaitement adaptées au problème, les paramètres disponibles ne sont pas totalement satisfaisants.

(25) R. Pône, Les masses d'air (68).

2-1-3 STRUCTURE DES CLASSES

Les algorithmes de classification, donnent des résultats bruts; pour découvrir la structure de chaque classe, une recherche ultérieure est conduite par l'analyse des correspondances. Une remarque préliminaire - et fondamentale - s'impose toutefois : les critères de choix des indicateurs diffèrent selon qu'il s'agit d'effectuer un classement ou de dégager une structure par l'analyse factorielle. En effet, si nous formons l'hypothèse que deux ou plusieurs indicateurs retenus sont redondants, cette redondance reste sans effet tant qu'il s'agit de classer les situations, de comparer des lignes, tandis qu'au stade de l'analyse des structures, des indicateurs redondants multiplient réciproquement leurs effets : l'analyse compare des colonnes. Les variables masses d'air sont donc exclues car fortement corrélées. Cette perte d'information est cependant peu grave, par rapport aux déviations possibles.

L'analyse factorielle, technique déjà ancienne, est employée dans des buts très variés. Pour certains utilisateurs, elle est un modèle explicatif qui livre les axes structurants d'un nuage d'observations; l'essentiel de l'interprétation porte sur la définition des axes orthogonaux. Cette conception, définie par les premiers utilisateurs, notamment les psychologues, est discutable. Les facteurs ne sont pas des axes structurants, mais des axes de dispersion; ils expliquent la variance et non la stabilité des variables. Les facteurs, partiellement subjectifs par leur définition, n'expliquent donc pas un complexe, mais sa variabilité. D'autre part ces axes, non corrélés au sens de la métrique choisie, sont-ils non corrélés au sens fonctionnel ? Cette question, soulevée dans de nombreuses études, n'est pas résolue. Enfin, toute explication doit être vérifiée par un test, et alors réapparaissent les hypo-

thèses préalables, comme la multinormalité des distributions marginales.

L'analyse factorielle peut être aussi un simple modèle descriptif, une réponse à la question "comment". La définition des facteurs devient moins impérative; l'étude est centrée sur la constitution et la forme des noyaux de variables et d'individus. Cette seconde optique prônée dans le chapitre trois, moins ambitieuse, est plus efficace. Les variables constamment proches, au sens mathématique du terme, sur les différents facteurs constituent la structure stable; les variables dispersées, employées pour définir les axes, constituent les éléments instables de la structure.

Dans ce chapitre, pour chaque classe, les noyaux de variables associées, sont étudiés sur les trois premiers axes; dans les douze analyses factorielles, la part de variance ainsi expliquée est toujours supérieure à 50 %, taux déjà très satisfaisant (26). En retenant seulement trois facteurs, l'analyse des noyaux, très rapide, peut être faite manuellement à partir des graphiques tracés par l'ordinateur, des contributions absolues et relatives imprimées sur les listing. Dans les cas limites, pour certaines variables, leur contribution absolue est prise en compte, puis leur position par rapport au noyau de rattachement probable est examinée sur l'axe quatre.

Les figures 9.13 A et B représentent l'analyse sur les deux premiers axes. Certaines variables pourtant proche de ces noyaux sont exclues de la structure, car sur le troisième axe, non représenté, elles s'écartent fortement du noyau stable. En outre, les quelques situations-circulations ont été projetées sur ces mêmes axes. Il est donc possible de qualifier les types ori-

- (26) L'explication de la variance a donné lieu à de grandes mystifications, dont l'analyse dépasse le cadre de cet ouvrage.

ginaux d'une classe; ils sont associés aux variables voisines qui les "tirent". Ainsi, le 04/01/70 est une situation-circulation très représentative de la classe 11 tandis que le 21/12/73 est un sous-type du à l'originalité de la variable n.

Chaque classe est ainsi définie par un premier sous-ensemble de variables stables, structurantes, liées entre elles, et un second sous-ensemble de variables instables. Cette première démarche effectuée, il devient possible de distinguer dans chaque classe des sous-types, qui sont décrits par leur position vis-à-vis des variables instables. Dans cette thèse, l'extension des types n'est pas un but, et cette recherche n'est donc pas systématique. Inversement, les relations entre la structure de chaque classe sont l'objet d'une nouvelle analyse. Une matrice logique booléenne est confectionnée avec en ligne les douze classes, et en colonne les treize variables codées en 10 ou 01 suivant qu'elles appartiennent ou non à la structure. Cette matrice est l'objet d'une nouvelle analyse factorielle qui teste les relations entre les structures des douze classes.

Les analyses factorielles sont toutes effectuées avec un programme en correspondances, choix expliqué par de nombreuses causes. Premièrement, la forme des données ne permet pas d'employer n'importe quelle distance; comme pour les nuées dynamiques, la distance du chi-deux est aussi la métrique de l'analyse des correspondances; cette distance permet de traiter des tableaux contenant des données non cardinales.

D'autre part, le traitement initial de la matrice des données conduit à privilégier le profil, et non la masse totale du vecteur décrit par les variables. Dans le chapitre huit, il est démontré qu'aucune variable n'est déterminante, et donc aucune pondération, plus ou moins empirique, n'est à proposer; l'analyse des corres-

pondances a même l'avantage d'estomper le poids trop lourd de certaines variables, dû à la codification. En outre, l'analyse des correspondances a pour objet de découvrir dans quelle direction principale les données s'écartent de l'hypothèse nulle : toutes les lignes (situations-circulations) et colonnes (variables) ont des profils identiques. Ces trois avantages, et d'autres plus généraux, non présentés dans ce texte, expliquent le choix de cette technique.

9-2 LES CLASSES DE SITUATIONS CIRCULATIONS PLUVIEUSES ET LEUR STRUCTURE

La classification retenue correspond au quatrième tirage. Le faible nombre d'itérations - six -, les valeurs du critère de convergence et des variances expliquent ce choix. Dans ce qui suit immédiatement les références entre (...), et (1) à (12), désignent les classes dans leur ordre de sortie du calculateur. On y substituera (tab 9.2) un ordre plus logique et plus satisfaisant pour le géographe, après examen des structures et de leurs relations (fig 9.14). Cet ordre final sera numéroté de 1 à 12.

Une seule classe - (6) - donnée par l'algorithme n'est pas très satisfaisante; l'insuffisance du nombre d'individus de cette classe ne permet pas de comparer noyau et classe. Cependant, à l'intérieur même du noyau, la variance très élevée, indique que les étalons sont peu ressemblants.

Pour les 3939 situations-circulations le classement est :

classe (1)	782	classe (7)	650
classe (2)	162	classe (8)	30
classe (3)	537	classe (9)	575
classe (4)	260	classe (10)	57
classe (5)	217	classe (11)	92
classe (6)	102	classe (12)	475

Les classes (8) et (10) ont moins d'individus dans leur noyau final que dans le tirage initial; ceci n'affecte pas la valeur de la classification, l'homogénéité de ces deux classes étant confirmée par la grande proximité des étalons, traduite par des variances très faibles.

Cette classification donne pour chaque situation-circulation le numéro d'appartenance à sa classe, mais aucun renseignement n'est fourni quant au pourquoi de cette appartenance. Les analyses en correspondances sur les douze classes, puis sur la matrice booléenne (tab 9.1) représentative des variables structurantes permettent un reclassement rationnel des classes initiales.

9-2-1 INTERPRETATION ELEMENTAIRE ET SYNTHETIQUE DES ANALYSES DE STRUCTURE

- Du pouvoir structurant des différentes variables

Sur l'ensemble des douze classes, trois groupes de paramètres se distinguent. Les variables courbure des flux en altitude (b) et présence ou absence des perturbations (1) sont les plus stables : onze fois sur douze elles sont structurantes. Pour toutes les classes, sauf (4) les flux ont toujours une courbure stable, cyclonique ou anticyclonique suivant les différentes classes. La variable présence ou absence de perturbation n'est pas structurante dans la seule classe (6), peu homogène, qui correspond à une classe de transition entre type norvégien et type non norvégien. Dans les Midis, une analyse empirique devrait donc retenir comme premiers éléments structurants, la courbure des flux en altitude et la présence ou l'absence de perturbations; toute classification différente est sujette à caution, du moins pour les situations-circulations pluvieuses.

	Variables												
	a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
(1)	1	1				1					1	1	1
(2)		1				1	1	1	1	1	1	1	1
(3)	1	1	1	1	1	1	1						
(4)	1					1	1	1	1	1	1		1
(5)	1	1				1	1	1	1	1	1		1
(6)		1	1					1					
(7)	1	1		1		1				1	1	1	1
(8)		1		1	1	1			1		1		1
(9)		1				1	1				1	1	
(10)		1	1			1	1						
(11)		1			1	1	1	1	1	1	1		1
(12)	1	1	1			1	1			1	1		

Tab. 9-1 : LES VARIABLES STRUCTURANTES
(CLASSES INITIALES).

		a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
(2)	Mécanismes d'altitude dominant	1		2			2	6	7	6	6	2	4	2	I
(4)		2	1				2	6	7	6	6	2		3	
(5)		3	2	2			2	6	7	6	6	1		3	
(11)		4		2		4	1	2	5	4	5	2		2	
(6)	Mécanismes d'altitude dominant	5		2	5				3						II
(10)		6		2	3		1	4							
(1)	Modèles norvégiens et types voisins	7	1	1			1					2	3	2	III
(7)		8	2	2		4	1				2	3	3	2	
(8)		9		2		6	3	1		6		2		3	
(9)		10		2			1	3				2	4		
(3)		11	1	2	3	4	1	1	3						
(12)		12	1	1	1		1	3			2	2			IV

Tab. 9-2 : CLASSIFICATION DÉFINITIVE
(ÉTALONS FINAUX).

Code général : voir Annexe I .

Second groupe, les variables trajectoires des flux en altitude (c) et en surface (k), les pressions en surface (j), et l'état du ciel (r), introduisent les nuances les plus nombreuses dans les douze classes. Il est possible d'écarter la variable état du ciel car sa contribution absolue est souvent faible dans les différentes analyses, mais la signification des autres variables est importante. Elles constituent les principaux éléments de variabilité des hauteurs de pluies; elles rendent compte de la diversité des situations-circulations à l'intérieur d'une même classe. Les variables b et l constituent donc la loi, les variables c, k, r l'originalité; l'analyse des correspondances réconcilie ainsi la démarche nomothétique, recherche du général, et idiographique, recherche du particulier.

Entre ces deux groupes, les autres variables s'intègrent plus ou moins dans les structures des douze classes, de six à neuf fois. Cet ensemble, le plus nombreux, n'a donc pas un rôle bien défini dans la distinction entre les situations-circulations pluvieuses; ainsi, la trajectoire des perturbations et leur position par rapport aux Midis ne doivent pas être privilégiées. Ce fait ne surprend pas, car les hauteurs égales recueillies par des perturbations de trajectoire différente, sont encore une preuve de la loi d'équifinalité propre aux systèmes ouverts.

Les résultats obtenus peuvent paraître évidents, mais en réalité le tableau 9.2 montre que ces variables structurantes intégrées dans des complexes, ont des rôles différents. Ainsi, en retenant seulement les deux variables les plus structurantes b et l, les classes 4, 6, 8, 9, 10 et 11 sont identiques; or certaines sont structurées par quatre variables, d'autres par sept ou huit et jamais les mêmes.

- Relations entre les classes de calcul et la classification définitive.

Cette nouvelle question posée a pour objet l'examen des relations entre les douze structures, par la technique des correspondances appliquée non pas aux situations-circulations journalières mais à chaque structure (27).

Les deux premiers axes expliquent 51 % de la variance; le facteur trois encore important, 18,9 % de la variance, introduit des nuances plus ou moins importantes. Quatre types de structures s'individualisent, nettement séparées les unes des autres. Le premier noyau regroupe les quatre classes (2), (4), (5) et (11). La similarité des trois premières se comprend facilement : elles représentent les situations-circulations non norvégiennes, sans perturbation et sans front. La position des points variables sur le graphique (Fig 9.14) explique l'agglomération de la classe (11); les quatre classes sont proches des variables position de la perturbation (n) type de front (o) et trajectoire du front (p). Les situations-circulations de la classe (11) sont donc structurées par ce même groupe de variables, qui cependant prennent des valeurs totalement différentes, comme le montre le tableau des étalons finaux. Ces quatre classes ainsi ordonnées deviennent les classes 1, 2, 3 et 4 qui constituent le groupe I.

Les classes (10) et (6) forment un second noyau peu distinct; l'originalité de ces classes est double; leur structure mal affirmée compte peu de variables, respectivement quatre et trois. D'autre part, la trajectoire des flux en altitude (c) tire ces deux classes, variable qui structure uniquement ce type II et les classes (3) et (12) relativement proches sur le premier

(27) Pour le traitement sur ordinateur les variables structurantes ont été codées 10, les autres 01.

axe. La circulation en altitude, et non la situation constitue donc le trait dominant de ce sous-ensemble. Les deux classes (6) et (10) devenues 5 et 6 forment le type II.

Le troisième groupe comprend les classes (1), (7), (8), puis (9) légèrement à l'écart par rapport au noyau principal. Ce sous-ensemble est entouré par les variations trajectoire des flux en surface, variation de pression en vingt quatre heures, type de ciel, et la pression en surface, variables presque toujours structurantes dans ces quatre classes; les caractères structuraux de ce type III sont moins nets, bien que les facteurs de surface semblent prédominer. D'autre part, cette absence de structure très forte explique sans doute, sauf pour la classe (8), le très grand nombre de situations-circulations par classe. L'originalité de la classe (9) est mal perçue sur les deux premiers axes; sur l'axe trois cette classe, fortement influencée par la variation pression en altitude, s'écarte du noyau représenté sur les deux premiers axes. Ces quatre classes, numérotées, 7, 8, 9 et 10 constituent le type III.

Les classes (3) et (12) sont proches des variables courbure des flux en altitude et trajectoire des perturbations. Dans les deux classes, la structure est composée d'un nombre pratiquement égal de variables, huit et sept; d'autre part, les variables structurantes de situations et de circulations sont aussi nombreuses dans la classe (3), et les paramètres circulations prédominent dans la classe (12). Les facteurs de circulation à l'origine de la diversité pour les autres classes, sont fortement structurants pour ces deux classes exceptionnelles, qui prennent ainsi le onzième et douzième rang et forment le type IV. Le tableau 9.2 récapitule ces résultats et donne la classification définitive.

La définition des deux axes, quelle que soit la

schématisation, montre cependant que le nuage des points observations et des points variables est ordonné par un premier axe circulation et un second axe situation; ainsi, est confirmé à l'échelle de l'ensemble des structures, le rôle moteur de la circulation pour rendre compte de la variabilité du fait pluvieux.

9-2-2 STRUCTURES DES DIFFERENTES CLASSES

- Structure des classes un à quatre (type I)

Les situations-circulations pluvieuses non norvégiennes, originales, ont en commun une structure complexe par le nombre de variables, huit ou neuf, un maximum. D'autre part, la plupart des variables structurantes, sont des paramètres illustrant la situation et non pas la circulation; cette règle vérifiée pratiquement pour toutes les classes, sauf la douzième, est encore plus vraie pour les classes 1, 2 et 3; ainsi dans la classe 3, la structure intègre deux variables circulation contre six de situation.

- Des situations-circulations non norvégiennes avec flux cyclonique en altitude : la classe un

La structure de la classe 1 est composée des variables six à dix, fortement regroupées car elles dépendent toutes de l'absence d'une perturbation. Ce trait peu original, s'observe aussi dans les classes 2 et 3. Ces averses locales et régionales (stabilité de la variable s) sont aussi caractérisées par la courbure cyclonique des flux en altitude; les exceptions à cette règle sont pratiquement inexistantes. Enfin, dernier caractère structural, les pluies ne sont pas accompagnées de variation de pression caractéristique. Les cartes de surface sont donc insuffisantes pour appréhender ce type; les mécanismes pluviométriques ont leur

siège en altitude.

Les variables non structurantes sont les pressions en altitude et en surface, et surtout la trajectoire des flux; elles indiquent le rôle secondaire des centres d'action, d'autant plus qu'aucun effet de compensation n'apparaît clairement; il pleut par hautes pressions en altitude et en surface, mais aussi avec des basses pressions aux deux niveaux, et parfois même s'observent des cas mixtes.

Les trajectoires des flux étant nombreuses et leur importance étant marquée sur l'axe un, il est possible de distinguer différents sous-types, dont deux sont plus fréquents. Le premier est illustré par le vecteur descriptif du 26 février 1970 à Perpignan :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	4	1	2	6	7	6	6	3	3	3

La situation est parfaitement dépressionnaire en altitude, et en surface; les flux sont de nord à tous les niveaux. Le 6 janvier 1973, un second sous-type s'observe (Fig 9.1) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	4	1	4	2	6	7	6	6	2	4	2

Des pluies très localisées tombent autour du bassin d'Arcachon et à Perpignan. Sur le reste de la France aucune averses n'est tombée, et le front d'une perturbation septentrionale qui traverse la France au nord de la Loire ne peut être mis en cause. Les averses médiocres, moins de 1 mm ne sont pas frontales; elles naissent dans des flux d'est dirigés par des hautes pressions en altitude et en surface. Les gouttes froides en altitude, peu marquées sont sans doute une des causes de ces ondées. D'autres sous-types moins nets se distinguent, mais ne s'organisent pas en noyau comme les deux sous classes décrites.

..v..

- Les situations-circulations non norvégiennes
avec hautes pressions en altitude : la classe deux

La classe 2 a une structure possédant des traits identiques à celle de la classe 1, notamment les relations étroites entre les variables l, m, n, o et p; l'absence de perturbation, élément prépondérant, conditionne tous les autres caractères. Le paramètre variation de pression fait aussi partie de cette structure stable : les variations de pression en vingt quatre heures ne sont pas significatives. Dernier élément de stabilité, les hautes pressions en altitude sont un premier trait original de cette classe.

La courbure des flux en altitude, la situation en surface, les trajectoires des flux en altitude et en surface sont des éléments de variabilité. Sur l'axe un, l'essentiel de "l'explication" est dû à la situation en surface, car sa contribution absolue est très élevée. D'autre part, les variables c, k, et s, associées sur ce premier axe, constituent un second noyau "stable" qui se désagrège sur les axes deux et trois.

Comme dans la classe précédente se distinguent plusieurs sous-type. Le 8 juin 1973, les averses recueillies à Biarritz correspondent au schéma suivant :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	1	1	1	2	6	7	6	6	2	1	4

soit une situation imparfaitement anticyclonique avec flux de nord en altitude, à laquelle correspond en surface une situation-circulation en phase. Le 4 août 1973, est un second sous groupe (Fig 9.2).

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	1	6	1	2	6	7	6	6	2	2	3

Des averses médiocres et d'intensité décroissante vers l'intérieur sont recueillies en Aquitaine. En altitude une crête secondaire ondule sur le sud-ouest diri-

geant un flux d'ouest nord-ouest. En surface, une dorsale se désagrège en marais barométrique où l'air chaud s'élève provoquant des averses différentes de celles apportées par une perturbation d'ouest sur la France du nord.

Le 16 juin 1970, sous-type plus spécifique, est traduit par la formule :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	1	3	6	5	2	6	7	6	6	2	5	3

La situation en altitude est parfaitement anticyclonique, haute pression et courbure des flux, à trajectoire de sud; en surface, dans un marais barométrique, les flux ne sont pas ordonnés.

- Un type de transition : la classe trois

Les situations-circulations de la classe 3 appréhendées par l'analyse des correspondances, sont originales. Le noyau des variables l, m, n, o et p demeure, comme dans les deux classes précédentes, mais il est moins dense; cette densité, plus faible, illustre la présence d'exceptions fréquentes, de situations-circulations perturbées. Second élément de stabilité, la situation en altitude est toujours parfaitement dépressionnaire; pression basse et courbure cyclonique des flux sont les témoins de la pénétration sur les contrées méridionales d'une coulée froide épaisse et active. La variable c, trajectoire des flux, en altitude, s'écarte de cette structure seulement sur l'axe deux, et plus encore sur l'axe trois; presque toujours, la trajectoire de nord des flux en altitude, traduit ces coulées froides. La variation de pression en vingt quatre heures montre les dangers d'une interprétation rapide; elle paraît s'écarter du noyau structurant sur l'axe un, mais sa contribution absolue n'est jamais

forte; le retour aux situations-circulations individuelles, montre la stabilité de cette variation de pression dans la très grande majorité des cas.

Les variables, situation en surface et trajectoire des flux, sont les principaux éléments perturbateurs comme l'attestent les contributions absolues. L'axe un, fortement discriminant atteste bien la diversité de cette classe, et sa fonction de transition.

Un premier sous-type comprend les véritables situations-circulations non norvégiennes, par exemple le 6 mars 1970 sur l'Aquitaine (Fig 9.3).

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	1	1	2	6	7	6	6	1	4	3

Les pluies inférieures à 2 mm en Aquitaine, disparaissent en Méditerranée. L'Aquitaine est sous l'axe d'un talweg très prononcé qui atteint la côte africaine; en surface un front froid est suivi d'une traine dont l'instabilité tend à s'atténuer. Les températures froides, - 2°C à Toulouse et Cazaux, constituent un facteur négatif qui explique la médiocrité des chutes : le potentiel hydrique est peu important.

Un second sous-type est illustré par la situation du 2 décembre 1973 à Bordeaux :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	1	4	1	2	5	6	6	1	1	2

Ce type est perturbé avec la variable l représentée par le chiffre 1; cette perturbation est à l'est des Midis et aucun front ne provoque des précipitations. Second trait original de ce sous-type, la situation anticyclonique de surface, et la circulation de flux d'est; un troisième sous-type est représenté par l'exemple du 11 mars 1970 à Toulouse :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	3	1	1	1	3	6	6	1	4	3

Par rapport aux sous-types précédents, de basses pressions stagnent en surface, et la perturbation animée d'une trajectoire de nord, et non d'ouest, est au sud des Midis.

- Une structure complexe : la classe quatre

Avec neuf variables structurantes, la classe 4 est une des plus stables; à l'intérieur de la structure, variables de situation et de circulation sont également représentées. Le complexe perturbation dans son ensemble, semble très stable, caractère plus surprenant que la courbure cyclonique des flux en altitude. En fait, le quatrième axe, au pourcentage d'explication encore élevé, fait éclater cette unité, et les mécanismes d'altitude sont en définitive prépondérants.

Sur le premier axe, les variables pression en altitude et en surface, corrélées, introduisent les principales nuances entre les sous-types. La trajectoire des flux en altitude s'isole sur l'axe trois, et l'unité du complexe perturbation, variables 1 à p, éclate sur l'axe quatre.

Le 18 janvier 1973 illustre un premier sous groupe (Fig 9.4)

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	4	1	1	2	6	4	5	1	3	3

La situation, parfaitement dépressionnaire en altitude et en surface, est caractérisée par une coulée froide qui entraîne une perturbation de nord-ouest. Cette perturbation n'atteint pas directement les Midis, car elle se déplace à l'est, mais les averses sont copieuses. Le 3 janvier 1973, la situation-circulation est légèrement différente :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	1	1	2	1	2	6	4	5	2	1	4

La perturbation de nord-ouest est encore à l'est des Midis, mais en surface et en altitude règnent de hautes pressions. Dans cette classe quelques variables structurantes, mal corrélées peuvent varier.

- Structure des classes cinq et six (type II)
- Des situations-circulations peu structurées :
la classe cinq

L'originalité de la classe 5 réside dans la faiblesse de sa structure. Sur treize variables, deux seulement sont toujours fortement corrélées sur les trois axes, auxquelles s'ajoute la variable n, la position de la perturbation. Les deux éléments structurants sont la courbure cyclonique des flux en altitude et leur trajectoire "indéterminée", correspondant à l'axe d'un talweg principal et plus généralement secondaire.

L'éclatement des éléments du complexe apparaît dès le premier axe; six variables s'isolent ou se regroupent en noyaux secondaires (r - j - q) et (p - o). Aucune de ces variables ne possède un poids absolu très élevé. Sur l'axe deux, la variable trajectoire de perturbation devient tyrannique. La faiblesse de la structure apparaît nettement au niveau de la variable présence ou absence de perturbation; comme la classe 4, des types perturbés et perturbés très marginaux sont représentés. L'analyse de structure confirme les résultats de la classification, cette classe étant la moins homogène.

Un premier sous-type est parfaitement cyclonique en altitude comme l'atteste l'exemple du 10 février 1973 à Biarritz :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	5	1	2	1	2	6	6	6	1	3	2

En surface, une perturbation d'ouest s'est déplacée vers

l'est; aucun front ne sinue, mais une dorsale s'installe. Le 13 septembre 1970 une situation-circulation différente s'observe :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	5	1	2	1	2	4	6	6	2	4	2

En altitude, la situation est imparfaitement anticyclonique; en surface, la perturbation d'ouest n'a pas encore atteint l'Aquitaine, elle circule sur l'océan atlantique. Ces deux situations correspondent en réalité à des intervalles pluviométriques, avant ou après le passage d'une perturbation. Le 13 octobre 1970 constitue un cas limite; la perturbation est trop éloignée pour causer directement les ondées, expliquant la formule non perturbée de ce dernier sous-type (Fig 9.5) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	5	2	1	2	6	7	6	6	2	5	4

- Un nouveau type faiblement structuré de sud :
la classe six

Comme les situations-circulations de la classe 5, les structures de la classe 6, peu stables, comprennent peu d'éléments. Des flux de sud, à courbure cyclonique en altitude, surmontant des perturbations de sud-est à est, telles sont les caractéristiques unitaires de ces situations-circulations. Toutes les autres variables introduisent des nuances et se dispersent sur les axes factoriels.

L'axe un est étroitement lié à la variable position de la perturbation, dont les poids absolu et relatif sont très élevés. Les variables, pression, trajectoire des flux en surface, et trajectoire des fronts constituent un second noyau qui "explique" l'axe un. Sur les trois premiers axes s'observent ainsi des noyaux secondaires de deux ou trois variables.

Un premier sous-type est illustré par les averses du 13 mars 1970 en Aquitaine :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	3	4	4	1	4	2	4	3	3	4	3

En altitude, la situation est parfaitement dépressionnaire; en surface, une dépression dirige un flux d'est et une perturbation se déplaçant dans le même sens. Un front occlus d'une perturbation située sur le domaine méditerranéen a une trajectoire de sud. Le 8 août 1970 illustre un second sous groupe (Fig 9.6) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	3	1	1	1	4	6	3	2	2	2	3

En altitude, la situation méridienne de sud est imparfaitement anticyclonique, et en surface, de hautes pressions dirigent un flux de nord nord-est; la perturbation d'est, est représentée par un front froid animé d'un mouvement nord-sud.

- Structure des classes sept, huit, neuf et dix :
type III

Ces nouvelles classes et celles du type IV sont plus proches du modèle norvégien que les six premières classes, la classe 4 exceptée. Ces classes du type III comprennent aussi généralement plus de situations-circulations pluvieuses.

- Une structure parfaitement anticyclonique en altitude mais perturbée en surface :
la classe sept

La classe 7, la plus nombreuse, est caractérisée par de hautes pressions en altitude, généralement même une situation parfaitement anticyclonique. Toutes les situations-circulations de cette catégorie sont perturbées, et fortement perturbées, comme le montre la va-

riation négative des pressions en vingt quatre heures. Le dernier critère excepté, la structure de cette classe un est constituée par les seules variables de situation; les paramètres circulations introduisent des nuances.

Certaines variables sont à peu près stables, comme la trajectoire des flux en altitude qui soufflent très souvent de nord. Les variables trajectoires des flux en altitude et en surface, et trajectoire des perturbations forment un second noyau, toujours très proche de la structure-situation, sauf sur l'axe trois. Sur le premier axe, les variables situation en surface, type de front, et surtout trajectoire des fronts s'isolent; la contribution absolue de la variable trajectoire des fronts est la plus importante. Sur l'axe deux, les variables, situation en surface et trajectoire des fronts, se regroupent.

Le 14 décembre 1973 représente un premier sous-type (Fig 9.7) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	1	1	1	1	1	1	6	6	6	3	2	2

En altitude, la situation est parfaitement anticyclonique et de hautes pressions règnent en surface. Des flux de nord circulent à tous les niveaux, et tirent une perturbation vers le sud; aucun front ne passe sur les Midis, car la perturbation circule à l'est de la France, repoussée par les hautes pressions. Le 6 novembre 1970 est un autre type :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	1	1	1	1	1	2	6	3	1	2	4	2

En altitude et en surface, une situation identique s'observe; mais la perturbation a une trajectoire d'ouest, et surtout un front froid de nord sinue sur les Midis aquitains. Plus original est l'exemple du 16 septembre

1970 sur les rivages méditerranéens :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	3	6	1	1	3	3	3	1	2	4	3

En altitude, la situation est imparfaitement anticyclonique, et un flux de sud circule à 500 mb au-dessus d'un flux de nord. En surface, un marais barométrique remplace les hautes pressions, et la perturbation de sud est au nord des Midis. Ce sous-type est très influencé par la variable pression en surface comme le montrent les graphiques simplifiés.

- Une structure de situation parfaitement perturbée :
la classe huit

La classe 8 a une structure importante par le nombre des variables incluses; la majorité des variables structurantes illustrent la situation, basse pression et courbure cyclonique des flux en altitude, basse pression en surface. Cette situation parfaitement dépressionnaire, toujours perturbée, est très favorable aux précipitations, qui tombent sur un domaine, parfois même sur l'ensemble des Midis.

La trajectoire des flux en altitude et en surface, la situation de la perturbation et le type de front, forment deux noyaux individualisés sur le premier axe. Sur le second axe, au "pouvoir d'explication" faible, s'isolent la trajectoire des flux en altitude, des perturbations en surface, et le type de front. Ces variables sont donc à l'origine des différentes sous catégories. Le 10 avril 1973 représente un exemple original (Fig 9.8) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	3	4	2	1	3	3	6	6	2	3	2

Des flux d'ouest en surface sont surmontés par des flux de sud qui "tirent" une perturbation située au nord. La

caractéristique est cependant l'absence de front; les pluies sont issues de la marge sud de la perturbation. Le 10 février 1973 illustre un autre sous-type :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	3	5	1	1	2	3	3	1	3	4	3

La situation en altitude est identique à celle du 10 avril 1973, mais en surface les flux sont de nord au creux d'un talweg; la perturbation d'ouest se déplace toujours au nord, mais un front froid ondule et atteint le golfe de Gênes. Le 31 mars 1970 représente un troisième sous-type :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	2	4	3	1	2	3	3	1	3	2	2

La même disharmonie persiste entre les trajectoires des flux de surface et d'altitude; la perturbation d'ouest est au nord des Midis, mais un front froid descend vers le sud et traverse les Midis.

- La stabilité de la situation : la classe neuf

Les situations-circulations de la classe 9, les moins nombreuses, ont une structure relativement stable; cette stabilité est plus prononcée pour les critères de situation. En altitude, la courbure des flux est toujours cyclonique, et en surface, dans de basses pressions peu marquées, parfois des marais barométriques, stagnent des perturbations sans trajectoire bien définie. Toujours, les fronts sont occlus ou quasi stationnaires; les pluies ont une étendue spatiale limitée, régionale essentiellement.

Deux éléments importants s'écartent de cette structure : la pression en altitude et la position précise des perturbations. D'autre part, les variables non structurantes s'organisent généralement en noyaux secondaires sur les axes un (m - c - p) et deux (a-n-p).

Tous ces caractères expliquent la rareté de cette structure, donc de ce type.

Il est difficile de distinguer des sous-types dans une classe ne comprenant que trente individus. Le 11 octobre 1970 à Perpignan, la situation-circulation correspond au vecteur :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	3	3	4	1	5	3	5	4	2	5	3

En altitude, circule un flux imparfaitement anticyclonique de sud; en surface, une dépression dirige un flux d'est humide à l'avant d'un front froid d'une perturbation septentrionale. Le 25 mars 1970, la situation est parfaitement cyclonique en altitude; une jeune perturbation se déplace en Méditerranée dans une dépression très petite à l'intérieur d'un marais (Fig 9.9) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	3	6	3	1	5	6	6	6	2	4	3

- Une structure relativement atténuée : la classe dix

La classe 10 possède une structure avec peu de variables stables, cinq, et deux d'entre elles, la variation de pression en vingt quatre heures, et l'état du ciel, subissent même quelques variations. L'essentiel de la structure est formé par la courbure cyclonique des flux en altitude, la présence et la trajectoire d'une perturbation. Cette trajectoire, pas toujours parfaitement stable, constitue cependant pour cette classe un des éléments distinctifs.

Les variables instables se concentrent en deux noyaux sur l'axe un; le premier, positif, comprend la trajectoire des flux en altitude et en surface, et les pressions en surface; le second, négatif, intègre les variables type et trajectoire des fronts; par rapport à

l'axe deux, la disposition des variables instables est moins ordonnée, et leur contribution absolue moins élevée.

La situation du 8 mai 1973 illustre un premier sous-type (Fig 9.10) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	1	1	1	1	2	6	6	6	1	4	3

En altitude, la situation imparfaitement anticyclonique dirige un flux de nord surmontant un flux de même trajectoire en surface, issu de hautes pressions. La perturbation d'ouest se déplace à l'est des Midis et aucun front n'est présent; les pluies accompagnent le passage d'une traine. Le 5 mars 1970, autre exemple de pluie sans front, est différent :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	4	1	1	1	6	6	6	2	4	3

Par rapport au sous-type précédent, les pressions sont basses en altitude et en surface, et la perturbation a une trajectoire de nord-ouest; mais une fois encore, les averses sont issues de la traine. Le 22 avril 1973 illustre une troisième sous-classe, très différente des précédentes :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
2	2	1	5	3	1	1	4	1	2	2	4	2

Les flux de nord en altitude et de sud en surface ne sont plus en phase; la perturbation de nord, à l'ouest des Midis passe entièrement, front chaud - secteur chaud - front froid, sur l'Aquitaine.

Les classes onze et douze : le type IV

- Une structure équilibrée, de situation et de circulation : la classe onze

La classe 11 est fortement structurée par un en-

semble de huit variables, toujours étroitement associées sur les trois premiers axes. La situation-circulation en altitude est stable, imparfaitement anticyclonique, avec souvent un flux de sud; en surface une dépression dirige des flux de sud à sud-est, et des perturbations frontales classiques.

Sur le premier axe, les variables type et trajectoire de front forment un second noyau, important par le poids des contributions absolues. Sur l'axe deux, la trajectoire du front est associée à la variable position de la perturbation; les variations de cette classe sont essentiellement dues aux nuances internes et externes des perturbations.

Le 14 mai 1970 illustre un premier sous-groupe :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	3	4	3	1	3	1	1	2	2	3	3

La perturbation de sud sud-ouest est installée sur l'Aquitaine, et les pluies sont provoquées par le passage complet de la perturbation, front chaud, secteur chaud, front froid. Le 14 juillet 1973 représente une seconde sous-classe :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	2	4	2	1	1	6	5	3	3	3	1

Les situations en altitude et en surface sont identiques, mais les flux sont d'ouest, et la perturbation de nord est à l'est des Midis; seul un front quasi stationnaire, prend en écharpe les Midis et remonte vers le nord. Le 8 juin 1970 est le témoin d'un troisième sous-groupe (Fig 9.11) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	3	4	4	1	3	1	3	3	2	2	2

La stabilité des situations en altitude et en surface est encore vérifiée, mais les flux ont des trajectoires différentes; la perturbation de sud est installée au

nord des Midis et seul le front froid ondule sur l'Aquitaine.

- Une structure de circulation : la classe douze

Les situations-circulations de la classe 12 sont l'exemple de structure où les variables circulation dominant. Sur les sept variables structurantes, quatre concernent les trajectoires et la variation de pression; cependant, la stabilité des trajectoires n'est pas parfaite, et les hautes pressions en altitude constitue un élément plus stable.

Sur l'axe un, les pressions en surface, l'étendue des pluies et le type de ciel, s'isolent; l'essentiel du "pouvoir explicatif" de l'axe est fourni par la pression qui a une très forte contribution absolue. La situation de la perturbation sur l'axe deux joue le même rôle, par sa très forte contribution absolue.

Le 12 septembre 1973 constitue un premier sous-groupe :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	1	1	3	6	4	1	2	1	4	2	3	2

La situation parfaitement anticyclonique en altitude surmonte un marais barométrique où des flux d'est sont peu rapides. Une perturbation d'ouest passe sur l'Aquitaine, perturbation originale car occluse. Le 25 juillet 1973 est le témoin d'un second sous-ensemble (Fig 9.12) :

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	1	1	4	4	1	2	6	1	2	2	3	3

La situation en altitude est encore parfaitement anticyclonique, mais les flux soufflent du nord, tandis que des basses pressions en surface dirigent encore un flux d'est, mais mieux organisé.

CONCLUSION

L'analyse conduit à distinguer quatre types de structures; pour les situations-circulations non norvégiennes - des trois premières classes - les mécanismes en altitude, plus spécialement les critères de situation, sont efficaces. Les classes 5 et 6 sont aussi structurées par les mécanismes d'altitude, mais la circulation, notamment la trajectoire des flux, devient le complexe déterminant. Le troisième type, les classes 7, 8, 9 et 10 obéissent mieux au modèle norvégien classique; en outre, l'essentiel de la structure est donnée par les indicateurs de situation. Les classes 11 et 12, elles aussi norvégiennes, sont structurées surtout par les paramètres de circulation.

A chaque classe correspond une structure complexe et différente; toute classification empirique, sur deux ou trois variables, moins riches, traduit mal la réalité. Le fait de retenir toujours les mêmes variables, semble très discutable, car les variables structurantes ne sont pas les mêmes pour toutes les classes.

Certaines classes, obtenues automatiquement, auraient sans doute pu être reconnues empiriquement par la pratique du terrain et des documents synoptiques; aussi la classe 11, qui représente une perturbation de sud sous la face orientale d'une vallée secondaire, comprend essentiellement les types qualifiés de sud-ouest par les climatologues et météorologues. Par contre, il est humainement impossible de mettre en valeur toutes les relations logiques, structurantes ou non à l'intérieur des diverses classes. La classification automatique, toujours logique, peut exclure des nuances suivant les variables prises en compte; la classification empirique, est obligatoirement illogique au-delà de quatre variables.

Pour six classes seulement le modèle norvégien est bien adapté; parfois de simples adjonctions suffisent; ainsi, la situation en altitude pour la classe quatre. Plus du tiers des précipitations sont cependant mal expliquées par ce schéma, pourcentage atteint dans les deux Midis.

C H A P I T R E D I X

LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DES TYPES I ET II
(EFFET D'ALTITUDE DOMINANT)

L'analyse des structures résumée dans le tableau 9.2 fait apparaître quatre types. Les deux derniers correspondent au modèle norvégien, tandis que les deux premiers ont en commun le rôle des mécanismes en altitude, notamment pour le type III où la courbure cyclonique des flux et leur trajectoire constituent les deux caractéristiques fondamentales d'une structure très lâche.

Dans ce chapitre et le suivant, des exemples de situations-circulations sont décrites; après avoir insisté sur les éléments de ressemblances dans le chapitre précédent, la perception des nuances devient le but principal; la démarche idiographique complète la phase nomothétique. Ces descriptions intègrent de nouveaux paramètres, recueillis sur des documents spécifiques, sondages, cartes des températures pseudoadiabatiques potentielles du thermomètre mouillé (T'), liguriennes, cartes tri-horaires, et cartes de différents niveaux 300, 200 mb...

10-1 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS PLUVIEUSES DU TYPE I10-1-1 SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE UN

L'inadéquation du modèle norvégien s'observe aussi bien en Aquitaine qu'en Méditerranée, et pour cette première classe, les descriptions sont classées suivant cet ordre spatial qui n'est pas obligatoirement le plus logique.

- EXEMPLES MEDITERRANEENS -

a - Les averses du 23 juin 1972

Le 23 juin 1972, des pluies sont observées dans de nombreux postes du domaine méditerranéen; elles sont très faibles, et Toulon avec 1 mm est le poste le plus arrosé. D'autre part, elles ne sont pas généralisées, car de nombreuses stations ne reçoivent aucune goutte d'eau, malgré un ciel très menaçant. Enfin, elles sont étroitement localisées sur le littoral, sauf en Provence orientale, où elles pénètrent plus à l'intérieur.

La circulation en altitude est caractérisée par des hautes pressions avec des flux d'ouest - sud-ouest et un cisaillement au nord des régions méridionales. Deux aspects secondaires sont intéressants; sur la Méditerranée quelques petites gouttes froides en voie de comblement persistent; d'autre part, dans la journée, un talweg se creuse sur les Iles Britanniques et atteint la France du nord en cours d'après-midi comme le montrent les cartes 300 et 200 mb. La situation est donc parfaitement anticyclonique avec cependant des effets locaux inverses. L'imbrication de systèmes d'échelle différente n'est donc pas spécifique des situations de surface même si de tels processus y sont plus fréquents.

En surface, l'anticyclone atlantique est centré sur le 40^{ème} parallèle. Il se prolonge par une dorsale sur l'Aquitaine et les plaines du Languedoc-Roussillon. Cette dorsale s'affaiblit et bascule vers le sud. Les cartes régionales permettent de préciser la situation. Sur le golfe du Lion est installé un centre dépressionnaire régional, dont l'origine est difficile à préciser, mais dont l'évolution est partiellement liée aux conditions thermiques. Au nord-est, un anticyclone secondaire est installé sur les Balkans et se prolonge sur la plaine du P^o. Il dirige un flux d'est nord-est qui ren-

contre le flux d'est - sud-est circulant sur la face orientale de la dépression méditerranéenne.

Cette convergence n'est pas le facteur principal car les pluies devraient être plus élevées dans le comté de Nice. Les pluies ont pour origine l'instabilité à l'intérieur d'une même masse d'air de type cinématique normale très chaude. L'effet thermique et littoral, décrits par Bleeker, sont les deux facteurs majeurs de l'instabilité qui elle-même provoque les précipitations (1). Les cartes masses d'air montrent que cette langue chaude lèche uniquement le littoral. Ces pluies ne s'expliquent donc pas **par** le modèle norvégien, même si elles affectent tous les rivages méditerranéens français.

b - Les chutes du 8 septembre 1959

Le 8 septembre 1959 constitue un second exemple de précipitations généralisées sur les littoraux méditerranéens en l'absence de perturbation. Comme dans l'exemple précédent, les averses sont médiocres et plus encore éparées; de nombreux pluviomètres restent vides, et aucune station ne reçoit plus de 10 mm.

En altitude, la situation est très originale. Une crête très ample s'évase sur toute l'Europe occidentale. Les Midis méditerranéens sont dans l'axe de la crête, mais un affaissement se dessine. Cette dépression secondaire, centrée sur la Corse, dirige en altitude un flux d'est à courbure cyclonique. Comme dans l'exemple précédent, la situation est imparfaitement anticyclonique.

En surface, la situation est plus simple; une cellule anticyclonique installée sur la mer du nord recouvre la majeure partie de l'Europe; les rivages méditer-

(1) Bleeker (edi) The UNESCO/WMO Seminar on Mediterranean synoptic meteorology (90).

néens sont surmontés par la marge sud de ces hautes pressions, et tous les postes ont une pression supérieure à 1 020 mb. Aucune perturbation n'affecte la France et à 18 heures on peut tout au plus indiquer un front froid au large de l'Ecosse. Le régime des flux, d'est, comme en altitude, est plus irrégulier en surface.

Les précipitations se forment à l'intérieur d'une même masse d'air humide. La situation en altitude constitue le détonateur et provoque des averses orageuses. Ces cumulonimbus formés dans les flux d'est se déplacent rapidement, et surtout ils se modifient très fortement au contact des moindres reliefs comme l'atteste l'étude précise menée par A. Orioux à propos des averses dans la plaine de l'étang de Berre (2) : "Les cumulo-nimbus se développant dans l'est et le nord de l'étang de Berre ont circulé tout autour de l'étang ne donnant sur la plaine de Marignane et l'étang lui-même que de faibles précipitations".

c - Les pluies du 13 juin 1968 (Fig 10.1)

Le 13 juin 1968 est un autre type de situation-circulation non norvégienne. Des pluies sont relevées dans toutes les stations méditerranéennes. Elles sont très faibles, et Montpellier qui reçoit 4 mm est le poste le plus arrosé; ces ondées débordent en Aquitaine intérieure, et une forte averse de 12 mm est même relevée à Saint-Gaudens.

En altitude, une crête installée sur le proche Atlantique, remonte jusqu'à la Scandinavie. Elle est légèrement basculée vers l'est, et sur sa face orientale s'individualise une dépression secondaire liée à une goutte froide. La carte des températures pseudo adiabatiques potentielles à 700 mb montre que ce centre

(2) A. Orioux, Radar et pluviométrie à Marignane (115).

dépressionnaire surmonte le delta rhodanien. Une poussée chaude, en direction des Alpes, contourne la dépression par l'est.

Au sol, un marais barométrique, installé sur la face méridionale d'une zone anticyclonique, prend en écharpe le continent européen. Les cartes plus précises font apparaître toute une série de centres secondaires. Un centre dépressionnaire est installé sur le delta rhodanien, mais des cellules anticycloniques, peu nettes, il est vrai, évoluent sur le pays nîmois et au large du Roussillon. Une zone orageuse sans front forme un vaste croissant centré sur les plaines du bas-Rhône avec deux branches, une à l'ouest qui atteint l'Aquitaine centrale, et une à l'est vers la Corse.

Les flux sont de sud à sud-ouest sauf en Aquitaine atlantique où les flux de nord prédominent. Ces flux méridiens de sud-ouest correspondent à une masse d'air convective convergente, saturée comme l'atteste le sondage de 12 h TU effectué à Nîmes.

La variabilité spatiale des ondées a une double origine : la direction des flux et la répartition des centres secondaires; la côte-d'Azur est abritée et à Nice on a recueilli moins de 0,6 mm. L'origine même des pluies demeure plus difficile à interpréter; elles se produisent à l'intérieur d'une même masse d'air convergente réchauffée en surface, et surmontée en altitude par une goutte froide qui agit comme un détonateur; la structure thermodynamique est le facteur essentiel.

- EXEMPLES AQUITAINS -

a - Les averses du 24 juin 1968 (Fig 10.2)

Le 24 juin 1968 est un exemple de situation non norvégienne à l'origine de précipitations en Aquitaine. Ces pluies sont très faibles notamment sur le littoral atlantique. A Bordeaux et Biarritz on relève moins de

0,6 mm. Dans les plaines intérieures où elles augmentent, elles ne dépassent pas le seuil 5 mm.

En altitude, un talweg orienté nord-ouest - sud-est s'étend du Groenland à la Grande-Bretagne. Une goutte froide, qui surmonte les Alpes, se déplace vers l'est. L'Aquitaine et le Roussillon sont sous la face occidentale de la vallée, et les isohypses présentent donc une courbure anticyclonique; cependant, une diffluence apparaît sur le sud-ouest. La carte des températures pseudo adiabatiques potentielles montre une remontée chaude qui s'enroule et s'enfonce en coin dans l'air froid.

En surface, l'anticyclone atlantique est installé sur le 30 ème parallèle. Il se prolonge par une dorsale qui recouvre tout le sud-ouest français. Sur sa face septentrionale circule un courant perturbé de sud-ouest qui n'affecte pas les régions méridionales sauf en fin de soirée; mais les pluies sont tombées au cours de la nuit précédente. La situation est donc imparfaitement anticyclonique en altitude, et bien anticyclonique en surface : le modèle norvégien ne convient donc pas.

Pour expliquer ces précipitations quatre facteurs peuvent être retenus. Sur l'Aquitaine s'observent deux masses d'air, la première convective divergente, et la seconde cinématique divergente. La discontinuité cinématique, mais non thermique prend en écharpe le sud-ouest, avant de s'effacer en cours de journée; à midi, stagne uniquement une masse d'air convective divergente. La discontinuité est sans doute à l'origine des pluies, discontinuité qui ne peut pas être assimilée à un véritable front. D'autre part, un flux de nord-ouest surmonte la crête anticyclonique de surface, provoquant un effet de barrière. L'air froid, rejeté en altitude, surmonte une masse plus chaude, et généralise l'instabilité. En outre, la situation présentée par la carte

des températures pseudo adiabatiques potentielles est elle aussi favorable aux précipitations. Ces chutes peuvent être qualifiées d'averses de cisaillement.

Tout aussi originale est l'absence de précipitations sur les rivages méditerranéens. En altitude stagne une goutte froide, et en surface ondule en matinée un front froid à l'intérieur de dépressions locales sur le golfe de Gênes et le Var. Malgré la conjonction de ces deux facteurs favorables aucune averse n'est recensée. Ces dépressions mordent sur l'intérieur, et les flux sont donc "asséchés" par un effet de foehn.

b - Les pluies du 23 août 1971

Le 23 août 1971 est une situation-circulation instable, avec effet orographique sur l'Aquitaine. Dans l'après-midi du 23 août, des pluies médiocres sont relevées dans les plaines intérieures du sud-ouest et sur les contreforts des Pyrénées; elles débordent faiblement sur les plaines du Roussillon.

En altitude, les hautes pressions dominent mais intègrent des dépressions secondaires. La goutte froide centrée sur la France au cours des journées précédentes, se réchauffe et s'éloigne vers l'est. Un talweg secondaire, plus prononcé, est installé sur l'Espagne du nord-ouest. L'Aquitaine surmontée par des flux ayant une courbure cyclonique de sud-ouest, est donc en situation anticyclonique imparfaite.

En surface, l'anticyclone atlantique forme une masse globuleuse avec un col très large qui l'unit à l'anticyclone balte. Ce col est précisément sur l'Aquitaine. A l'extrémité occidentale du col sinue le front d'une perturbation de sud-ouest, dont le point triple est au large de la Laponie. Ce front n'est pas à l'origine des précipitations car il est installé sur l'Atlantique et les précipitations devraient affecter en

premier lieu le littoral, ce qui n'est pas vérifié. Les cartes tri-horaires montrent la prédominance des flux de nord-est sur l'Aquitaine; malgré la disposition anticyclonique générale, une dépression sur l'Espagne septentrionale agit comme un centre relais.

L'origine des précipitations est due à l'instabilité des masses d'air provoquée par un réchauffement à la base, et par l'effet de barrière dû aux Pyrénées; ces pluies, qui tombent sous forme d'orages, sont ainsi essentiellement localisées dans les plaines intérieures et plus encore sur le piémont central et oriental.

c - Les précipitations du 3 juillet 1971

Le 3 juillet 1971 est une situation pluvieuse de convergence, sans front, qui affecte toute l'Aquitaine et une partie du Roussillon. Ces averses sont médiocres avec un maximum de 13 mm relevé à Mont-de-Marsan.

En altitude, une dorsale recouvre l'ensemble de l'Europe occidentale, et se décale lentement vers l'est. L'Aquitaine est sous la face occidentale de cette dorsale, et les isohypses présentent donc une courbure cyclonique. Une diffluence apparaît nettement, à laquelle s'ajoute la présence d'une goutte froide sur l'Espagne du nord-ouest.

En surface, les cartes présentées par les BQE et BQR ne sont pas identiques. On retrouve certes une zone de marais barométrique sur l'Aquitaine, mais à tendance anticyclonique sur le BQE et dépressionnaire sur le BQR; l'interprétation proposée par le BQR semble plus réaliste : les directives indiquent que "le champ continuera à s'affaiblir en surface ce qui favorisera l'évolution orageuse". D'autre part, l'analyse précise des flux montre une convergence dépressionnaire très caractéristique centrée sur la région de Mont-de-Marsan. Les averses sont des pluies de convergence, sans front,

liées à une dépression régionale. La dépression est née sous le vent des Pyrénées par flux de sud à sud-est et elle est induite à partir du centre espagnol plus vaste; elle rend parfaitement compte de la distribution spatiale des pluies, avec un maximum au centre de la convergence.

10-1-2 SITUATIONS-CIRCULATIONS PLUVIEUSES DE LA CLASSE DEUX

a - Les pluies du 21 août 1971

Les pluies recueillies en Aquitaine le 21 août 1971 sont un exemple de précipitations non norvégiennes correspondant à la classe deux. Des averses sont recueillies dans la plupart des stations du sud-ouest, plus élevées dans l'intérieur que sur le littoral; surtout, elles s'accroissent dans le pays basque et à Biarritz on relève ainsi 16 mm contre moins de 2 mm à Bordeaux.

En altitude, les pressions sont supérieures à la normale, mais une goutte froide est à l'origine d'une dépression secondaire, installée sur la France centrale, et qui dirige un flux de nord-ouest sur l'Aquitaine. Le sud-ouest étant sous la face occidentale de cette dépression, les flux ont une courbure anticyclonique.

En surface, l'anticyclone atlantique est formé de trois cellules, dont une est située au large du Portugal. Une dorsale peu marquée recouvre les Midis aquitains. Sur la France du nord, une dépression est contournée par le nord-est par un front occlus qui atteint la Corse. Cette dépression dirige un flux humide de nord-ouest qui entre en contact au niveau de l'Aquitaine avec un flux de sud-ouest. Les précipitations sont donc des pluies de convergence.

La répartition spatiale des averses a pour origine

le blocage de la masse chaude par les flux de nord-ouest contre les Pyrénées. L'effet orographique intervient donc sur les Pyrénées atlantiques, accentue l'ascendance et donc l'importance des hauteurs d'eau recueillies. Le lendemain les mêmes mécanismes demeurent, mais la poussée chaude s'estompe et les pluies très parsemées sont très médiocres, inférieures à 2 mm.

b - Les chutes du 14 juin 1968 (Fig 10.3)

Dans l'après-midi du 14 juin 1968 des pluies tombent sur le littoral atlantique, au nord du bassin d'Arcachon; elles sont importantes à Bordeaux, 31 mm, puis elles s'atténuent très rapidement le long de la vallée de la Garonne, et deviennent insignifiantes à Agen.

En altitude, un talweg est creusé sur l'Atlantique central. Sur sa face orientale une diffluence très caractéristique s'observe au niveau de l'Europe occidentale, l'isohypse 556 mb surmonte le fond du golf de la Baltique. A l'intérieur de cette crête persiste une immense goutte froide associée à une dépression secondaire. Cette dépression secondaire est installée sur la France méridionale, et elle se déplace vers le sud-ouest comme le montre l'examen successif des cartes de niveau 200 mb.

En surface, un vaste ensemble de cellules anticycloniques est orienté sud-ouest - nord-est de l'Atlantique central à l'Europe septentrionale. Une cellule, située au large de l'Irlande, dirige un flux septentrional. Au sud de ces cellules, en accord avec la situation d'altitude, une zone dépressionnaire relative peu marquée, un marais barométrique, recouvre l'Europe occidentale et méditerranéenne.

Entre ces deux ensembles ondule un front quasi-stationnaire sur le nord de la France et des Pays-Bas. Ce front ne se déplace pratiquement pas et il n'est pas

à l'origine des précipitations relevées en Aquitaine. La carte masse d'air explique l'originalité des averse : une apophyse froide de nord-ouest, du type convective convergente, s'insinue dans la vallée de la Garonne et rencontre le flux de sud-est méditerranéen asséché qui traverse le seuil de Naurouze et souffle sur l'Aquitaine centrale. Les pluies sont donc internes à une même masse d'air maritime et correspondent à un effet de convergence sans front. La situation en altitude est sans doute favorable, mais n'explique nullement la répartition spatiale car des averse aussi copieuses auraient dû affecter l'Aquitaine intérieure. La distribution des hauteurs, recueillies le long de l'axe de la Garonne, témoigne parfaitement de l'origine uniquement massique des averse.

c - Les pluies du 12 août 1971

La situation du 12 août 1971 est un type non norvégien de pluies d'instabilité. Quelques averse épar-ses, très médiocres, sont recueillies dans certains postes de l'Aquitaine intérieure, notamment à Toulouse et Pau, mais aucune ondée n'atteint les Pyrénées.

En altitude, la situation zonale est anticyclonique comme en témoigne l'écartement des isohypses. Une goutte froide en voie de réchauffement est centrée sur le dijonnais. Elle se morcelle et une partie glisse vers le sud-ouest.

En surface, une vaste cellule anticyclonique est installée sur l'Atlantique central. Elle se prolonge par une dorsale sur la France, dorsale à peine marquée, en fait un véritable marais barométrique. Des perturbations circulent au nord, mais n'affectent pas le Midi aquitain; aucun front n'est dessiné même sur les cartes détaillées des météorologues régionaux.

L'origine des pluies est difficile à préciser.

L'effet orographique n'intervient pas car les flux sont mal organisés, et des pluies devraient être relevées sur les sommets pyrénéens. Il est impossible de songer à des ascendances thermiques car ces averses ont lieu à la fin de la nuit. Il faut faire intervenir deux critères : l'intensité due à la goutte froide en altitude, et un cisaillement, les flux d'altitude d'ouest surmontant le môle anticyclonique. Cependant l'effet d'instabilité provoqué par la goutte froide est déterminant, car autrement les averses seraient généralisées sur certaines régions d'Aquitaine.

Dans l'après-midi du 20 août 1971, une situation identique provoque des ondées sur l'ensemble de l'Aquitaine. Une masse froide par flux de nord se répand sur l'ensemble du sud-ouest et provoque des pluies en repoussant une masse d'air plus chaude, héritage d'une situation méridienne de sud. Nous sommes à la limite d'un type non norvégien car on pourrait peut-être dessiner un front de discontinuité.

d - Les averses du 3 août 1968

Les pluies locales sur les Pyrénées le 3 août 1968, sont elles d'origine purement orographique. Des précipitations très faibles sont observées sur toute la chaîne pyrénéenne; elles augmentent d'ouest en est, jusqu'au seuil de Naurouze puis s'estompent au-delà. Seule la face nord de la chaîne est arrosée.

En altitude la situation est parfaitement anticyclonique d'après la carte 500 mb du BQE, mais le piémont pyrénéen est surmonté par une diffluence très nette. La carte des températures pseudo adiabatiques potentielles au niveau 700 mb introduit aussi des nuances; entre deux remontées sinue une poche d'air plus fraîche, avec une cellule individualisée sur l'Espagne.

En surface, un anticyclone atlantique, centré au

large de l'Irlande, mord sur toute la France occidentale qui devrait ainsi être protégée. Sur la face orientale de cet anticyclone s'écoule des flux de nord qui provoquent quelques pluies éparses sur les littoraux de la mer du Nord. Traversant ensuite la France, ils s'assèchent et diffluent; ils rencontrent alors la barrière pyrénéenne qui leur procure un regain de vitalité. L'effet orographique est indéniable, les pluies faibles longeant les Pyrénées. L'augmentation légère des précipitations vers l'est peut s'expliquer par des effets locaux, mais aussi par la forme en entonnoir des reliefs, les flux convergent entre le Massif-Central et les Pyrénées. Ces précipitations n'appartiennent pas au schéma norvégien classique et sont dues à l'effet de barrière des montagnes pyrénéennes.

e - Les pluies des 25-26 juin 1968

Les 25 et 26 juin 1968, de brèves ondées sont observées dans la nuit et la journée sur le bordelais et plus à l'est. D'autre part, des pluies inférieures à 2 mm sont recueillies sur le pays montpelliérain. Cette distribution spatiale est surprenante, et l'origine des averses est difficile à déterminer.

En altitude, les basses pressions sont rejetées vers le nord, sur l'Islande. L'isohypse 580 surmonte l'ensemble des Midis français. La situation est donc anticyclonique, schéma confirmé par la présence à 100 mb d'une crête très marquée. Les Midis méditerranéens sont cependant sous une diffluence, seul facteur favorable à la pluviosité.

En surface, un anticyclone est installé sur l'Atlantique oriental, au large des côtes marocaines; il se prolonge par une dorsale qui recouvre toute l'Europe occidentale et unit l'anticyclone atlantique aux hautes pressions continentales. Sur la face septentrionale de cet ensemble, un couloir dépressionnaire est parcouru

par des perturbations de sud-ouest. Un front froid se décale très lentement vers le sud et atteint la Loire. En avant de ce front circule un flux de sud-ouest. Les pluies qui affectent l'Aquitaine septentrionale, sont donc des pluies de marge méridionale, peu importantes car la situation est essentiellement anticyclonique.

Les précipitations relevées à Montpellier sont plus difficiles à expliquer. La situation est anticyclonique et aucun front n'apparaît. Les sondages effectués à Nîmes attestent la présence d'une masse d'air convective convergente, et les directives des météorologues indiquent le risque de formation de cumulus très localisé. Il s'agit donc de pluies d'origine massique, non expliquées par le schéma norvégien. La présence de centres locaux, non répertoriés sur les cartes tri-horaires, ou même l'effet thermique rendent compte de cette anomalie des précipitations. Dans cet exemple, un système local, va à l'encontre des effets provoqués par le système zonal et parvient à donner des pluies.

f - Les pluies du 6 octobre 1971

Le 6 octobre 1971 des précipitations sont relevées dans les postes du Roussillon; elles sont éparses et de nombreuses stations sont épargnées. D'autre part, les hauteurs d'eau sont très faibles, moins de 0,6 mm à Perpignan. Des chutes semblables ont été observées la veille sur les Pyrénées centrales et occidentales.

En altitude, la circulation est parfaitement anticyclonique; l'isohypse 556 surmonte la Scandinavie centrale et la courbure des flux est anticyclonique, une crête étant axée sur l'Aquitaine centrale. On observe certes une petite goutte froide, mais elle s'est déplacée du Havre à la Méditerranée occidentale sans surmonter le Roussillon.

En surface, la situation est aussi anticyclonique; la cellule subtropicale installée au large du Portugal

est reliée à un second centre plus puissant centré sur la mer du Nord et cet ensemble s'étend sur toute l'Europe. Cette masse anticyclonique bascule lentement vers le sud-est, et dirige des flux d'est sur les Midis. Un front froid d'une perturbation de sud-ouest qui circule sur la face occidentale des hautes pressions est poussé vers le sud-ouest, mais il n'atteint pas les Pyrénées et le Roussillon, et il ne provoque aucune averse sur la France septentrionale.

La médiocrité des averses a pour origine la situation anticyclonique en surface et en altitude. Pour expliquer les averses recueillies il faut une fois encore faire appel à un centre local, au large du Roussillon, qui provoque un retour d'est caractéristique.

g - Les chutes du 16 août 1971 (Fig 10.4)

La situation du 16 août 1971 est un autre type d'averse non expliqué par le modèle norvégien classique. Des ondées très fines sont recueillies dans les pluviomètres des postes côtiers de la Catalogne, de Perpignan au sud de Barcelone. Aucun relevé n'est supérieur à 1 mm semble-t-il, ce qui est très faible.

En altitude, des hautes pressions surmontent les Midis comme le montre l'isohypse 588. Un talweg secondaire atteint les latitudes mauritaniennes, mais le Roussillon très à l'est, est sous une crête, et même une crête secondaire. La situation est donc parfaitement anticyclonique par flux de sud-ouest.

En surface, un anticyclone atlantique est situé à la latitude des Charentes. De forme globuleuse, il se prolonge sur toute l'Europe occidentale et centrale. Au sud une dépression accompagnée d'une perturbation remonte vers le golfe de Gascogne. Sur le Roussillon la face méridionale de l'anticyclone s'affaiblit. Les cartes régionales font apparaître des noyaux secondaires dépressionnaires peu marqués dont un sur le Roussillon.

Aucun front de perturbation ne permet d'expliquer les précipitations. Une fois encore le schéma norvégien classique est insuffisant. Le long de la côte espagnole remonte un flux de sud-ouest très chaud qui recouvre tout le sud-est donnant des températures records. Ce flux est parallèle à la côte, si bien que suivant le schéma proposé par G. Roche (3), on peut admettre une discontinuité d'évolution à l'intérieur d'une masse d'air homogène. L'instabilité qui apparaît, à l'origine des précipitations, a donc une origine purement mécanique. Cette instabilité donne des averses car la masse d'air est très chaude, mais les hauteurs d'eau recueillies sont faibles, car la situation anticyclonique en altitude bloque les ascendances. La répartition spatiale des précipitations, limitées au littoral, s'explique parfaitement par ce schéma général, et il est inutile dans ce cas de faire appel à des systèmes régionaux.

h - Les pluies du 6 décembre 1973

Les averses du 6 décembre 1973 appartiennent aussi à cette classe deux. Des pluies médiocres tombent sur l'Aquitaine océanique, moins de 1 mm à Biarritz et Bordeaux. Ces faibles bruines n'affectent pas les stations intérieures, Agen, Pau et Toulouse n'enregistrant aucune ondée.

En altitude, la situation est parfaitement anticyclonique; l'isohypse 556 surmonte les Pays-Bas, et en outre, l'Aquitaine est sous la face orientale d'une dorsale; les flux ont donc une courbure anticyclonique. Un seul élément paraît devoir favoriser les précipitations, une forte diffluence et l'amorce d'une poussée froide comme l'atteste le tracé de l'isotherme -20°C ; les cartes 300 et 200 mb confirment l'importance de ces deux traits, secondaires à première vue.

En surface, l'anticyclone atlantique, centré au

(3) J. P. Triplet et G. Roche, Météorologie générale (77)

large de la péninsule ibérique, se prolonge par une dorsale sur le sud-ouest français; l'isobar 1 025 mb entoure l'Aquitaine et la pression est donc très supérieure à la normale. Au nord, une zone dépressionnaire discontinue et morcelée s'étend du Labrador à la Scandinavie; des perturbations d'ouest sont associées à ces dépressions. L'Aquitaine est en marge d'une dépression qui se creuse profondément en cours de journée comme l'attestent les cartes de variation de pression; en outre, les fronts qui sinuent sur la France septentrionale et la Manche n'atteignent pas ces latitudes méridionales. Les flux sont mal organisés; variables et faibles en cours de nuit, ils prennent une composante de nord-ouest pendant la journée sans correspondre pour autant à une traine.

La médiocrité des averses a indéniablement pour origine la position marginale de l'Aquitaine par rapport au courant perturbé; en altitude et en surface prédominent les caractères anticycloniques. La direction des flux explique partiellement la distribution spatiale des pluies limitées au littoral, sous l'effet de distorsion dû au contact physique terre-mer; les cartes tri-horaires et les cartes de variation de pression montrent en outre la formation d'une dépression secondaire dans le golfe de Gascogne. Ce centre régional explique les averses copieuses relevées à Santander, et le maximum basque; il a donc une action inverse à celle que commande la situation générale et parvient à provoquer des averses.

10-1-3 SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE TROIS

a - Les pluies du 19 juin 1970 (Fig 10.5)

Les averses du 19 juin 1970 sont un exemple de la

classe cinq. Des précipitations tombent en abondance sur l'ensemble aquitain; elles augmentent du nord au sud, 4,3 mm à Bordeaux, 15 mm à Biarritz, et décroissent du littoral à l'intérieur, décroissance qui est irrégulière.

En altitude, la circulation est parfaitement anticyclonique; une crête remonte jusqu'au nord de la Scandinavie; à l'intérieur de ces hautes pressions une crête secondaire est centrée sur le Portugal et l'Aquitaine est sous la façade orientale de cette dorsale. Le seul facteur favorable aux précipitations est la diffluence au niveau de la France occidentale.

En surface, la pression toujours supérieure à 1 020 mb dessine une dorsale. Les flux de nord - nord-ouest sont relativement forts. Aucune perturbation n'apparaît, et il n'est guère possible d'assimiler ces précipitations à des averses de traine d'une perturbation orientale, car à l'est les pluies s'effacent.

L'origine des précipitations a pour cause le développement de nuages cumuliformes dans un flux de nord-ouest, avec un cisaillement en altitude comme l'atteste la carte 700 mb. Ces cisaillements sont dus au décalage suivant l'altitude des axes de dorsales; l'empilement anticyclonique n'est pas régulier. Ceci constitue le facteur original de cette classe et montre que la prise en compte de seulement deux niveaux est parfois insuffisante. La distribution spatiale des averses s'explique par la direction des flux, les effets "orographiques" et continentaux subis et la diffluence d'altitude.

10-1-4 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE QUATRE

La classe quatre, contrairement aux trois précédentes, obéit au modèle norvégien.

a - Les pluies des 4-5 septembre 1964 (Fig 10.6)

Les précipitations des 4 et 5 septembre 1964 analysées en détail par Bordreuil (4) constituent un premier exemple de la classe onze. Les averses sont faibles en Aquitaine, et la seule tendance spatiale nette est la décroissance latitudinale du nord au sud. Sur les rivages méditerranéens des hauteurs exceptionnelles sont recueillies dans la province rhodanienne; plus faibles sur le littoral varois et en Roussillon, elles se renforcent dans le golfe de Gênes. A l'intérieur du bas-Rhône des discontinuités apparaissent; à l'ouest, dans l'Hérault et le Gard, sont observés des maxima supérieurs à 200 mm en dix heures. Un second maximum, une véritable trombe, tombe sur la Crau, 142 mm en deux heures à Salon.

En altitude, la situation est anticyclonique, l'isohypse 556 remontant aux latitudes de la Scandinavie. Cependant, sur le proche Atlantique et en Aquitaine s'observe un profond talweg froid, avec une remontée chaude à courbure cyclonique sur sa face orientale. Cette advection tropicale est alimentée pendant toute la période pluvieuse. Ce talweg se déplace lentement vers l'est, et sa partie méridionale demeure fixe, ancrée à une goutte froide installée sur l'Espagne du nord-ouest et les Pyrénées.

En surface, est dessinée une situation isobarique classique méridienne : entre l'anticyclone atlantique et les hautes pressions continentales s'insinue un golfe dépressionnaire peu creusé. Cette situation évolue très lentement; l'anticyclone atlantique migre vers l'est et provoque l'étranglement du courant chaud de surface, d'autant plus qu'un flux d'est est émis par l'anticyclone continental. Sur l'ensemble des Midis circule un flux de sud. C. Bordreuil distingue trois discontinui-

(4) C. Bordreuil, Les précipitations des 4 et 5 septembre 1964 dans les Midis méditerranéens (92).

tés dont un front froid qui limite une invasion polaire maritime très évoluée, donc peu active. A l'est, deux fronts quasi stationnaires encadrent la remontée chaude et humide.

Les pluies sont médiocres en Aquitaine à cause de la nature des masses d'air et l'effet d'abri dû aux Pyrénées. L'effet de goutte froide intervient peu, l'écart entre les hauteurs relevées au nord et au sud du domaine aquitain étant faible. D'autre part, les pluies médiocres du Roussillon, à l'écart du système pluviométrique, et leur renforcement dans le golfe de Gênes où un front quasi stationnaire ondule, s'expliquent bien. Les variations spatiales dans le bas-Rhône sont l'objet de l'analyse de C. Bordreuil. Au cours de la première phase, sur le Languedoc il fait intervenir un système classique avec interdépendance de la convergence, du soulèvement orographique et un apport d'énergie thermique par la Méditerranée. Une masse d'air épaisse saturée, et très instable donne de fortes pluies tandis que d'autres éléments oeuvrent dans le même sens.

Le second maximum, la trombe, est attribuée à la présence d'une goutte froide en altitude qui par effet de résonnance provoque ces orages violents. Il faut ajouter l'apport énergétique à la base qui augmente la convection. Cette goutte froide n'apparaît pas sur les documents disponibles; système à petite échelle elle provoque un effet cumulatif. Mais en outre, l'effet de goutte froide dépend de nombreux facteurs; sur les Pyrénées, où stagne une goutte plus vaste, dessinée sur le BQE, aucun orage violent n'éclate.

b - Les neiges des 5-6 mars 1971 (Fig 10.7)

La situation des 5-6 mars 1971 est un autre exemple, analysé en détail pour montrer les variantes locales. Les hauteurs d'eau inscrites sur le BQE sont médio-

cres dans de nombreuses stations du littoral méditerranéen, à l'est du Rhône. Ces précipitations sont originales à plus d'un titre. Elles tombent sous forme de neige, ce qui ne constitue pas un événement exceptionnel, car des précipitations solides ont été observées encore plus tardivement notamment les 30-31 mars 1971, et d'autre part, le fait neigeux atteint son maximum d'ampleur à la fin de l'hiver. Malgré ces deux remarques, l'épaisseur et la durée du manteau neigeux furent remarquables.

Pendant ce bref épisode, la neige tombe essentiellement sur les régions côtières et les proches reliefs bordiers. Les montagnes au nord, dont l'altitude dépasse 1 500 m ne subissent aucune tourmente neigeuse; à la station de Valberg, on ne relève que de rares traces. Cette opposition entre les hauts sommets "continentaux" et le littoral est un premier trait original.

La variation spatiale d'intensité des chutes est considérable sur de faibles distances. A l'est du Var, les chutes de faible intensité ne sont, parfois même, pas enregistrées. A Menton, aucun manteau neigeux ne se forme, le sol reste nu, et seuls quelques gros flocons tourbillonnent dans le ciel. Plus à l'ouest, la hauteur de neige mesurée à l'aéroport de Nice atteint seulement 2 cm, où ce tapis indigent est soumis à la brise de terre qui descend dans la vallée du Var et provoque un effet de chasse-neige. Sur les collines de l'agglomération niçoise, le manteau blanc continu est plus épais; à Nice-Rimiez la hauteur moyenne est supérieure à 5 cm, mais le tapis neigeux s'effiloche rapidement, et ne persiste pas au-delà de vingt quatre heures.

A l'ouest du delta varois, la région cannoise est paralysée par d'abondantes chutes. A Cannes-pépinière, 13 cm sont mesurés; dans l'intérieur, le manteau s'épaissit, et à l'aéroport Cannes-Mandelieu la couche dépasse 25 cm. Les campagnes voisines ne sont pas plus

favorisées; les abats les plus importants s'amoncellent sur les basses pentes du Tanneron.

Les chutes principales tombent en fin de nuit, quand les températures sont les plus basses. A Nice-aéroport, une première averse dure de quatre à six heures dans la nuit du 4 au 5 mars, puis de nouveaux flocons tombent drus la nuit suivante. Dans la région cannoise, où la hauteur de neige mesurée est plus élevée, les chutes sont enregistrées aux mêmes heures. La forte variabilité spatiale, sans aucune variabilité temporelle constitue un second trait original.

La nature de la neige est différente suivant les chutes. Dans la soirée du 5 au 6 mars, de gros flocons lourds et humides tombent; dès midi, le sol est libéré à l'est du Var, et l'humidité suinte dans les campagnes. Pendant la nuit du 5 au 6 mars et les heures suivantes, les flocons sont secs, fins et cassants; la pellicule neigeuse, moins épaisse, adhère mieux sur le sol glacé où elle persiste. A l'ouest du Var, cette nouvelle chute recouvre les lambeaux de la couche précédente qui a tenu, étant donné l'importance des chutes.

En altitude, s'établit dès les premiers jours de mars, une situation à composante méridienne. La carte 500 mb du 3 mars présente une crête centrée sur l'Atlantique et atteignant l'Islande; à l'est de cette crête, un profond talweg déborde en Méditerranée et l'isohypse 556 descend aux latitudes africaines. Cette situation provoque l'écoulement d'un flux de nord, d'origine arctique, qui glisse sur la face occidentale de cette vallée. Ce flux, très épais, est aussi visible sur les cartes 300 et 200 mb.

Cette situation évolue très lentement au cours des jours suivants; le talweg orienté primitivement nord-sud s'infléchit, et le 7 mars, son axe a une direction nord-est sud-ouest. Dès le 5 mars, comme le montre la carte 500 mb, une goutte très froide et très vaste se déplace

du nord-est au sud-ouest, au sein de cette vallée; dans la nuit du 5 au 6 mars, elle est centrée sur la partie occidentale du golfe de Gênes. En altitude, règne donc une situation dépressionnaire très accusée de type méridien qui dirige un flux glacial. Elle correspond à un blocage de la circulation zonale, et constitue un puissant facteur d'ascendance.

La situation de surface présente des analogies avec celle d'altitude. L'anticyclone des Açores est relié aux hautes pressions scandinaves; un flux de nord puis de nord-est, glacé, se répand sur l'Europe et atteint la Méditerranée occidentale. Dès le 4 mars, un violent mistral balaye la vallée du Rhône, et le thermomètre descend à 1° C à Marignane.

Le 3 mars, sur le golfe de Gênes se creuse une dépression; elle s'accuse les jours suivants et se déplace irrégulièrement le long du littoral italien. Cette dépression dirige un flux doux et humide de sud-est qui lèche plus ou moins le littoral; la remontée de cet air "méditerranéen" se fait par pulsations irrégulières.

L'analyse des perturbations est délicate car les interprétations pour le tracé des cartes météorologiques varient suivant les auteurs. Sur les bulletins quotidiens d'études, stagne de la Corse aux Balkans, un front d'occlusion sans caractère défini. Les météorologues régionaux dessinent un autre schéma, une rétrograde "tirée" par un courant de nord-est en altitude. Le littoral est donc surmonté d'un front chaud à l'aube du 5 mars, puis d'un front froid la nuit suivante. Cette seconde interprétation rend mieux compte de la qualité des chutes de neige : quand passe le front chaud, tombent des flocons humides et lourds, et quand stagne le front froid, ce sont des flocons secs et plus serrés qui s'accumulent sur le sol. Les pulsations d'air froid régénèrent ce système.

La ligurienne du 5 mars permet seule de comprendre

les variations spatiales du fait neigeux. Une dépression locale est installée au large du littoral cannois; les isobars, serrés sur le littoral, s'espacent très rapidement dans l'intérieur et une convergence très nette s'observe au droit du cap Roux dans l'Estérel. Ces trois éléments de méso-analyse, expliquent bien les anomalies spatiales. Dans l'intérieur, la situation dépressionnaire s'affaiblit et les flux très froids, dont la capacité hygrométrique est faible, ne donnent aucune chute importante, même sur les sommets. La position précise de ce centre local, la confluence des isobars expliquent l'anomalie positive enregistrée sur la région cannoise; sur les premières pentes du Tanneron, l'effet orographique accentue l'ascendance dynamique, et inversement sur la basse plaine du Var ce flux d'est - sud-est est soumis à un effet de foehn provoqué par le cap Ferrat et le Mont-Boron. Cette analyse précise atteste le rôle des systèmes locaux qui influencent fortement la pluviosité.

c- Les pluies du 7 juin 1972

Le 7 juin 1972 est un exemple de situation d'ouest norvégien ne donnant des pluies que sur le domaine aquitain. Les averses médiocres sont généralement inférieures à 5 mm; elles diminuent d'intensité dans les plaines intérieures, moins de 0,6 mm à Toulouse, sauf au contact direct du piémont pyrénéen.

En altitude, un profond talweg, dans lequel s'individualisent des gouttes froides, s'étend du Groenland au golfe de Gascogne. L'Aquitaine est surmontée par des pressions supérieures à la normale, mais les flux ont une courbure cyclonique et une trajectoire de sud-ouest; ils diffluent sur les rivages méditerranéens.

En surface, l'anticyclone atlantique forme une vaste quadrilatère qui s'étend sur tout le sud-ouest. Un

courant d'ouest sud-ouest circule sur sa face septentrionale, et remonte vers la Scandinavie; un front d'occlusion traverse d'ouest en est l'Aquitaine centrale, puis s'incurve sur les Alpes. Aucune averse ne se déclenche lors du passage du front au sol. Les pluies sont issues de la traine où soufflent des flux d'ouest. Les masses d'air sont relativement chaudes et du type convectives normales comme l'atteste le sondage de Bordeaux.

La faiblesse des précipitations s'explique par la situation anticyclonique de surface. Les cartes tri-horaires montrent à l'intérieur de cette dorsale, une dépression relative sur le golfe de Gascogne et un anticyclone à l'est; en outre, la direction zonale d'ouest des flux explique la baisse des précipitations dans les plaines intérieures, d'autant plus que l'Aquitaine est sur la marge sud du courant perturbé comme le démontre la néphanalyse.

d - Les pluies du 13 janvier 1969 (Fig 10.8)

Les 12-13 janvier 1969 des précipitations généralisées sur les Midis correspondent à la classe quatre. Dans la nuit du 12 de fortes averses sont recueillies sur le littoral méditerranéen, 17 mm à Nîmes et 25 mm à Nice. Dans la journée, elles faiblissent, mais des hauteurs supérieures à 5 mm sont relevées en Aquitaine, 8 mm à Agen. Les pluies continuent à tomber le 14 janvier et même jusqu'au 16 en Aquitaine.

En altitude, la situation est parfaitement dépressionnaire; une vallée froide s'insinue du Groenland à la Méditerranée. Les Midis sont sous la face orientale de ce talweg. Une remontée très chaude, s'incurve autour de cette advection froide; l'air froid s'enfoncera en coin dans l'air chaud qui le contourne par le nord, comme le montrent les deux cartes T' du 13 et 15 janvier;

des fronts froids se développent ainsi en altitude entre les masses d'air.

En surface, la situation est en phase le 13 janvier. Un ensemble dépressionnaire, centré sur les Iles Britanniques s'étend sur toute l'Europe; sur sa face méridionale, aux latitudes des Midis français, des perturbations d'ouest se déplacent rapidement "tirées" par le flux d'altitude. Les précipitations sont plus directement liées aux fronts froids, très actifs; leur rythme est calqué sur leur passage, même s'ils s'occluent en surface, comme le montre la ligurienne de 12 heures.

Les précipitations sont fortes car la situation-circulation est très favorable; ascendances dynamiques frontales et de convergence s'additionnent; d'autre part, en surface, un centre régional se déplace entre les Bouches-du-Rhône et la Corse, et les averses tombent aussi sur la face septentrionale de ce minimum. La puissante advection chaude constitue enfin un facteur très favorable par le potentiel hydrique contenu.

10.2 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS PLUVIEUSES DU TYPE II

10.2.1 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE CINQ

a - Les chutes du 18 octobre 1971

Dans la nuit du 18 octobre 1971 tombent sur l'Aquitaine des averses de la classe six. La répartition spatiale des hauteurs est caractéristique; très faibles sur le littoral septentrional et dans les plaines intérieures, elles s'accroissent vers le pays basque, 10 mm à Biarritz. En cours de journée, l'onde pluvieuse s'estompe et ne s'observe plus que de rares averses éparses.

En altitude, l'isohypse 556 surmonte les littoraux méridionaux de la Grande-Bretagne, et la pression est donc supérieure à la normale en Aquitaine. Le tracé rec-

tiligne des isohypses illustre une circulation zonale, avec une légère diffluence au niveau du continent. La carte 200 mb atteste le renforcement de cette situation zonale en altitude.

En surface, l'anticyclone atlantique mord sur l'ensemble des Midis; il s'épanouit en cours de journée et se renforce sur le golfe de Gascogne comme le montre les cartes de variation de pression. Au nord de cette cellule, les noyaux dépressionnaires d'Islande bien marqués dirigent un courant perturbé de sud-ouest. Dans le secteur chaud les flux soufflent du sud -sud-ouest : trajectoires des flux et des perturbations sont identiques dans cet exemple.

La faiblesse des averses a deux causes, la prédominance de la situation anticyclonique généralisée dans toute l'épaisseur de la troposphère, et la position marginale de l'Aquitaine par rapport au courant de sud-ouest. Les fronts s'effacent et se frontalisent. La répartition spatiale des pluies a pour origine essentielle la trajectoire des flux; la barrière pyrénéenne protège l'Aquitaine intérieure et seul le littoral est fortement arrosé, notamment au sud; plus au nord, les flux sont déjà partiellement asséchés. L'effet continental joue en sens inverse de la position par rapport au coeur de la perturbation.

b - Les pluies du 19 juin 1968 (Fig 10.9)

Le 19 juin 1968 est un autre type méridien de la classe six. Des pluies importantes tombent sur l'Aquitaine pendant la nuit du 18 et dans la matinée du 19 juin. Elles sont légèrement plus faibles en Roussillon, mais Perpignan reçoit malgré tout 14 mm. Des totaux records sont enregistrés à l'est en Languedoc, 150 mm de 18 à 6 heures à Montpellier. Ces pluies encore importantes dans le bas-Rhône, faiblissent en Provence orientale, 5 mm à Nice.

En altitude, à l'est d'une vallée froide peu prononcée, s'étend une crête qui atteint le nord de la Scandinavie. Sur la face occidentale de cette crête, stagne une vaste dépression secondaire liée à une goutte froide. Cette dépression recouvre l'ensemble des Midis; centrée sur l'Aquitaine continentale, elle se déplace lentement vers l'est. Une fois encore, s'observe une situation anticyclonique imparfaite avec, en outre, une goutte froide.

En surface, l'anticyclone atlantique est soudé par un col à l'anticyclone du Groenland. Sur sa face orientale la dépression islandaise, bien creusée, se décale vers le sud. Les Midis sont en marge dans une zone de marais barométrique assez complexe, avec notamment une dépression qui se déplace du Roussillon à la Corse. Dans cette dépression, un front froid traverse d'ouest en est la Méditerranée. Les flux de nord-ouest sur l'Aquitaine sont de nord-est sur la Méditerranée. Les masses d'air ne sont pas identiques; sur l'Aquitaine atlantique règne une masse d'air convective normale (11° C), tandis qu'à l'est s'étend une masse d'air cinématique convergente plus chaude (15° C).

La répartition des pluies, mais surtout leur violence ne peuvent pas être comprises sans consulter les cartes précises des météorologues régionaux. Une succession de dépressions défile sur les côtes méditerranéennes dont une centrée sur le Languedoc, et une autre entre la Corse et la Provence. Ces dépressions dirigent un flux de nord-est chaud (kc) sur leur face orientale. Ce flux est si important qu'il provoque la naissance d'une véritable perturbation au nord de la dépression languedocienne, perturbation prolongée par un front d'occlusion en Aquitaine. Cette perturbation tourne sur elle-même et forme un véritable vortex chaud rétrograde.

Ce "retour" de nord-est très caractéristique affecte essentiellement les provinces occidentales du domaine méditerranéen. Les variations d'intensité des

pluies deviennent claires; le maximum languedocien correspond à la position du vortex sur cette région et le bas-Rhône où les pluies sont moins fortes car l'effet d'abri intervient. Elles sont plus faibles sur la côte d'Azur éloignée du tourbillon, et sur laquelle s'insinue une apophyse anticyclonique. La dissymétrie entre Aquitaine intérieure et littorale s'explique par la position de ce vortex, mais aussi par la situation précise de la goutte froide en altitude. Les pluies sur le littoral, post-frontales, sont des pluies de traines. Ce type méridien de nord-est, est en fait issu d'une remontée chaude qui s'incurve vers le sud-ouest; seules les précipitations recueillies sur le littoral atlantique relèvent d'un type de nord-ouest de traine.

c - Les pluies du 21 juin 1972

Le 21 juin 1972 est un dernier exemple de pluies de la classe six donnant des chutes localisées. Dans la journée, des précipitations insignifiantes sont relevées sur les marges méridionales du Roussillon et de la Provence; dans le pays toulonnais ces averses sont aussi inférieures à 1 mm.

En altitude, règnent des hautes pressions; un talweg secondaire, lié à une goutte froide est axé sur l'Aquitaine océanique. A l'est, sur les Midis méditerranéens une dorsale secondaire est installée. En altitude, règne donc une situation parfaitement anticyclonique. La goutte froide tout en se comblant se déplace cependant vers le sud-est comme l'attestent la carte 500 mb du 22 juin, et les cartes de niveau 200 et 300 mb.

En surface, l'anticyclone atlantique de forme massive, se prolonge sur l'Europe par une dorsale; une seconde cellule apparaît au nord des Carpates. Sur la face méridionale, un front quasi-stationnaire méditerranéen se déplace lentement vers l'est sud-est sous l'influence d'une poussée froide de nord-ouest dirigée par l'anticyclone. A l'avant de ce front, qui traverse

lentement la Méditerranée, des flux de sud-est s'observent dans une masse d'air cinématique normale.

La répartition des précipitations est directement liée à la position précise du front qui s'étend du Roussillon à la Provence, au large du littoral. La faiblesse des averses, malgré la poussée froide postérieure et la remontée chaude à l'avant du front, a pour cause la situation en altitude, la faible épaisseur du flux de sud-est, et le renforcement anticyclonique au sol comme le montrent les cartes tri-horaires; ce type de situation par flux de sud-est, peu net, ne provoque que des pluies locales.

10.2.2 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE SIX

a - Les précipitations du 5 septembre 1972

Le 5 septembre 1972 est un premier exemple d'averse de la classe six; les ondées sont très faibles sur l'ensemble aquitain, notamment sur le littoral, moins de 0,6 mm à Biarritz. Elles s'accroissent en Méditerranée, où s'observent deux maxima, un premier sur le golfe de Gênes débordant sur la Côte-d'Azur, et un second centré sur le Languedoc oriental, 11 mm à Nîmes.

En altitude, au sud du courant circumpolaire s'est isolée par cut-off une dépression liée à une goutte froide, centrée sur le Portugal; cette dépression s'éloigne très lentement, vers le sud-ouest, sur le proche Atlantique. Autour de cette dépression froide, un flux chaud d'est s'insinue par le nord-est. La distribution spatiale des précipitations très caractéristique ne correspond nullement au tourbillon froid, mais aux langues d'air chaud qui tournent autour, démontrant ainsi le rôle des advections chaudes.

En surface, l'anticyclone atlantique, centré au

large de l'Islande, se prolonge par un col, sur le continent, qui le soude à la cellule danubienne. Au nord de ce complexe, circule un rapide courant d'ouest. Au sud, la situation dépressionnaire est totalement différente; une dépression est installée au large du Portugal en phase avec les basses pressions d'altitude; très vaste, elle mord sur la Méditerranée. En cours de journée, cette dépression se morcelle et se comble partiellement. Un front quasi-stationnaire ondule de l'Aquitaine à la Grèce, remonte vers le nord, et passe sur les Alpes et le Massif Central.

Les flux, de sud-est sur l'Italie, s'incurvent à l'est sur les Midis. La direction des flux rend assez bien compte de l'opposition pluviométrique entre les deux domaines, mais d'autres facteurs interviennent, comme le relief. Les averses sont plus fortes sur le Languedoc que sur les basses terres du Roussillon, où le relief est perpendiculaire aux courants chauds et humides; par contre le comté de Nice face aux flux est plus arrosé que le bas-Rhône. L'anomalie pluviométrique positive du Languedoc a une double origine. En altitude, une langue d'air chaud s'insinue dans l'air froid, observation faite sur les deux cartes de niveaux 500 et 200 mb. En surface, s'observe un système local nuageux non intégré dans un corps, ni dans une traine. La situation en altitude et l'apport d'énergie ont contribué à la formation de ce système orageux localisé qui s'efface rapidement.

b - Les chutes du 18 juin 1968

Le 18 juin 1968 des pluies sont recueillies sur l'ensemble des Midis; seule la côte-d'Azur est épargnée. Ces pluies sont importantes sur toute l'Aquitaine, avec des intensités maxima dans l'intérieur, 54 mm à Toulouse, un record. Sur les littoraux méditerranéens, les hauteurs relevées sont au contraire très faibles, généralement inférieures à 0,6 mm, sauf en Roussillon, prolongement de l'Aquitaine centrale.

En altitude, un talweg atteint la latitude de l'Irlande; il se prolonge au sud, et se divise en deux branches, une au large du Portugal, et la seconde axée sur la botte italienne. La carte 700 mb confirme cette situation et montre une dorsale sur l'Aquitaine centrale et le Roussillon-Languedoc, dorsale secondaire mais dans des hautes pressions. L'ensemble des Midis est surmonté par une situation anticyclonique imparfaite, car les pressions sont supérieures à la normale, mais les isohypses ont une courbure cyclonique, sauf en Aquitaine centrale.

En surface, un anticyclone globuleux installé sur l'Atlantique central dirige une descente froide sur sa face orientale. La France méridionale est en situation de marais barométrique, avec une légère dépression en Catalogne signalée sur les cartes du BQE. Liés à cette dépression, sinuent deux fronts froids presque stationnaires. Sur les cartes tri-horaires un anticyclone relatif, centré sur le golfe de Gênes, atteint le Languedoc; à l'est, deux dépressions s'individualisent en Aquitaine centrale, et une véritable perturbation naît par ondulation du front froid sur le piémont pyrénéen. Elle correspond à une double poussée, froide sur le littoral, et chaude sur les Pyrénées.

La direction des flux varie toutes les trois heures, en relation avec la naissance et le déplacement des centres secondaires, bien que semblent prédominer les flux d'est - sud-est, sauf en Aquitaine océanique. La situation générale explique l'extension spatiale des pluies, la supériorité du sud-ouest où sinuent les fronts, malgré la présence de la crête en altitude. Les différences d'intensité ont pour origine les centres secondaires régionaux qui se dessinent à l'intérieur du marais barométrique, particulièrement celui de l'Aquitaine centrale né sous le vent des Pyrénées.

c - Les pluies du 18 mai 1972 (Fig 10.10)

Le 18 mai 1972 est un exemple de situation "régionale" pluvieuse par flux d'est. Dans la journée, de fortes averses sont recueillies sur les montagnes corsees. Ces pluies atteignent le fond du golfe de Gênes et la côte-d'Azur, mais leur intensité très médiocre, est inférieure à 1 mm en vingt quatre heures.

En altitude, la situation est méridienne et dépressionnaire; un vaste talweg est installé sur un axe Groenland-Tunisie. Il est parsemé de gouttes froides qui se déplacent vers l'est; la plus importante traverse la Méditerranée, et atteint l'Italie dans la nuit du 19 mai. Cette situation évolue très lentement en cours de journée.

En surface, entre l'anticyclone atlantique et l'anticyclone continental, s'insinue un couloir dépressionnaire en phase avec la situation en altitude. Une dépression peu creusée, 1 005 mb, cas fréquent en Méditerranée, remonte de la Tunisie vers la Corse. Une perturbation circule sur sa face orientale et se déplace lentement vers l'est, mais le front occlus prend en écharpe la plaine du P^o et se prolonge sur le comté de Nice. Ce front d'occlusion se déplace vers le nord, comme la dépression. Les flux d'est, comme le montrent les cartes liguriennes, sont des flux chauds mais aucun sondage ne permet de préciser la structure de cette masse d'air qualifiée de convective normale.

La répartition spatiale des pluies s'explique par la position des centres dépressionnaires de surface et d'altitude; la Corse est plus arrosée que le continent, en marge de ces centres. D'autre part, les flux d'est parallèles au littoral ne donnent plus d'averses au-delà de l'Estérel, car le mistral souffle. Ce type de situation caractérise les retours d'est sur la côte-d'Azur, mais les averses sont faibles. Un sondage masse

d'air ferait sans doute apparaître une série d'inversions plus ou moins prononcées. Les pluies, qui tombent le même jour en Aquitaine, correspondent à une situation différente.

C H A P I T R E O N Z E

LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DES TYPES III ET IV
(EFFET DE SURFACE DOMINANT)

Les situations-circulations pluvieuses des types III et IV sont mieux expliquées par le modèle norvégien classique. Les mécanismes d'altitude interviennent, mais leur rôle n'est pas fondamental, sauf exception, comme dans les exemples précédents.

11.1 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DU TYPE III11.1.1 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE SEPT

a - Les pluies du 11 novembre 1972

Les averses généralisées du 11 novembre 1972, correspondent à une situation-circulation de la classe un. Des pluies sont observées dans toutes les régions françaises et les Midis n'échappent pas à la règle; en Aquitaine, les hauteurs plus élevées sur le littoral atlantique que dans l'intérieur, augmentent aussi sur le piémont pyrénéen, Biarritz recevant 17 mm en vingt-quatre heures. Sur les littoraux méditerranéens, la lecture des cartes du BQE présente des résultats insuffisants. Aucune station, sauf certaines du comté de Nice, reçoit plus de 5 mm. En réalité, des cartes plus précises montrent un très fort maximum dans la région varoise, 68 mm à Porquerolles et 48 mm au cap Camarat. A l'ouest du Rhône, les variations spatiales sont faibles et les hauteurs recueillies médiocres, toujours inférieures à 1 mm, sauf à Nîmes.

En altitude, règnent des hautes pressions l'isohypse 556 ne descendant pas au sud du seuil poitevin; mais

la courbure des flux est cyclonique, une vallée très nette étant installée sur le proche Atlantique. Les isohyres, serrées, indiquent une circulation rapide qui se ralentit dans la journée. Les Midis sont surmontés par l'axe du talweg et la face orientale de l'onde planétaire, situation favorable aux ascendances; cette situation se déplace vers l'est et dans la soirée, l'Aquitaine est sous la face occidentale, donc anticyclonique, du talweg d'altitude.

En surface, la situation est caractérisée par la position relativement classique de l'anticyclone des Açores et de la dépression d'Islande. L'anticyclone, ou du moins sa marge, recouvre toute l'Aquitaine et une partie du Roussillon. La dépression d'Islande, entre cette île et la Scandinavie, très creusée (965 mb), recouvre toute la France, et un talweg secondaire atteint la Méditerranée. Sur la face orientale de cette cellule, remonte une perturbation de sud-ouest dont le front froid ondule de la Finlande à la péninsule ibérique. Sur les Midis, il se déplace vers le sud-est sous l'influence d'une poussée froide de nord-ouest. Les pluies correspondent au passage du front froid et de la traine, encore active sur l'Aquitaine. Sur le piémont pyrénéen, l'influence orographique accentue l'ascendance dynamique, bien qu'elle soit imparfaite, les flux faisant un angle par rapport à l'obstacle pyrénéen. La médiocrité des averses, en Roussillon et Languedoc, a pour cause l'effet d'abri orographique qui provoque une subsidence.

Le maximum varois s'explique par une dépression locale installée sur le cap Camarat, qui se déplace vers l'est et atteint Vintimille en cours de nuit. Cette dépression, relativement creuse (1 008 mb), dirige un flux de nord sur sa face occidentale, donc sur la côte varoise. Le flux général d'ouest heurte ce flux local, le surmonte, ce qui accentue l'ascendance provoquant des

averses violentes. Cette interférence des deux systèmes généraux et régionaux est classique, mais suivant l'origine des masses d'air, elle peut au contraire provoquer une interruption des précipitations, notamment quand le flux local de nord est plus épais.

b - Les chutes du 30 août 1971 (Fig 11.1)

Les pluies du 30 août 1971 représentent un exemple de précipitations généralisées sur les Midis par flux de nord-ouest. Des précipitations importantes sont recueillies en Aquitaine; elles augmentent d'ouest en est, moins de 1 mm à Bordeaux et 39 mm à Carcassonne. Le Roussillon est très arrosé, 14 mm à Perpignan en vingt-quatre heures. Dans les autres régions méditerranéennes, les pluies sont rares, notamment dans le delta rhodanien; un maximum secondaire apparaît cependant au niveau des pays toulonnais.

En altitude, les hautes pressions surmontent les Midis. La circulation est de type zonal, mais une vallée, à peine marquée au niveau de l'Aquitaine centrale, et une goutte froide sur la Catalogne introduisent des nuances. Une crête secondaire surmonte les régions méditerranéennes, sauf le Roussillon. La situation est donc imparfaitement anticyclonique.

En surface, l'anticyclone atlantique, centré au large du détroit de Gibraltar, mord sur la France du sud-ouest, puis s'étend vers l'est en cours de journée. Sur sa face nord, dans une série de dépressions, disposées zonalement, circule un courant perturbé d'ouest sud-ouest. Le coeur des perturbations passe sur l'Ecosse septentrionale et la Scandinavie. Le front froid d'une perturbation s'insinue jusqu'à l'Espagne; il possède une trajectoire de nord-ouest en traversant l'Aquitaine, atteint en fin de soirée le Roussillon, puis poursuit son déplacement vers le sud-est. A l'avant et

à l'arrière de ce front froid, dominent des flux de nord-ouest. Les cartes tri-horaires permettent d'affiner l'analyse. Une dépression secondaire apparaît au niveau du toulousain et du Roussillon, et les météorologiques régionaux n'ont pas hésité à reproduire une petite perturbation; ce centre secondaire provoque les fortes averses enregistrées, et non pas le front froid principal.

Le maximum secondaire du toulonnais s'explique par le trajet maritime de cette perturbation dans le golfe du Lion; elle ne touche à nouveau le littoral que sur les caps de la région toulonnaise. Cette perturbation secondaire rend compte partiellement de l'anomalie pluviométrique positive observée en Aquitaine centrale peu éloignée de ce centre secondaire. Ce système régional n'explique sans doute pas l'occurrence des précipitations, mais il suffit à bouleverser la répartition classique des hauteurs par flux de nord-ouest. L'effet cumulatif de cette dépression secondaire est donc l'élément, sinon moteur, du moins principal pour rendre compte des distributions spatiales. A l'est du bas-Rhône, les averses correspondent à un autre type.

c - Les averses du 7 décembre 1973

Le 7 décembre 1973, des pluies fines sont recueillies dans les pluviomètres de l'Aquitaine. Les précipitations diminuent du littoral vers les plaines intérieures, moins de 1 mm à Toulouse. Les averses sont légèrement plus intenses sur le littoral basque que sur la côte landaise, mais l'écart est faible. L'Aquitaine paraît en marge d'une onde pluvieuse qui traverse le bassin parisien plus au nord.

En altitude, au niveau 500 mb la pression est supérieure à la normale sur les Midis. La courbure des flux est aussi anticyclonique : la façade orientale d'une

crête peu prononcée surmonte les domaines méridionaux. Seul élément favorable aux précipitations, une diffuence s'observe au niveau du littoral atlantique.

En surface, l'anticyclone atlantique centré au large du Portugal, se prolonge sur toute l'Aquitaine et les régions occidentales du littoral méditerranéen; sur sa face septentrionale, circule un courant perturbé d'ouest, avec une perturbation dont le point triple est situé sur l'Ecosse méridionale. Aucun front ne sinue sur l'Aquitaine en situation de marge, et la carte des systèmes nuageux montre même un beau temps nuageux. Les flux d'ouest correspondent à la trajectoire des courants perturbés.

La distribution spatiale des précipitations obéit presque parfaitement aux mécanismes généraux. La situation anticyclonique en altitude et en surface, la position de marge rendent compte de la médiocrité des précipitations. La direction des flux explique la décroissance des ondées vers l'intérieur. Le seul trait original est constitué par l'augmentation des pluies sur le littoral basque, bien que l'abri soit plus marqué. Biarritz est la seule station où au niveau 800 mb s'observent des mouvements ascendants difficilement explicables; ailleurs, en Aquitaine, les vitesses verticales témoignent de la stabilité d'ensemble des masses d'air. Le maximum pluviométrique du pays basque a donc pour origine des mécanismes locaux qui modifient la situation générale. La régulation entre les deux systèmes est cumulative.

Il ne pleut pas sur les rivages méditerranéens malgré une situation générale plus favorable; en altitude, l'effet anticyclonique est moindre, et en surface une basse pression, qui prolonge le centre dépressionnaire de l'Italie centrale, déborde jusqu'à Toulon. Un premier facteur de sécheresse est l'abri géographique constitué par le relief aux flux d'ouest nord-ouest. D'autre part, sur la côte-d'Azur, la ligurienne atteste la

présence d'une cellule anticyclonique, et la situation régionale s'oppose à la situation générale; l'effet de feed back est négatif.

d - Les pluies du 14 décembre 1973 (Fig 11.2)

Le 14 décembre 1973, des averses sont recueillies dans tous les postes du sud-ouest. Ces pluies diminuent dans les plaines intérieures; les contreforts pyrénéens sont plus arrosés que les bas pays du bordelais, Biarritz reçoit 5 mm contre 2 mm à Bordeaux.

En altitude, la situation est parfaitement anticyclonique. Les pressions sont supérieures à la normale et la courbure des isohyptes est nettement anticyclonique. Un seul facteur paraît favorable, la diffluence, mais la carte 200 mb montre la position précise du jet stream au nord de l'Atlantique; or les précipitations sont plus élevées sur la gauche de la "sortie" du jet.

La situation de surface est en phase; un anticyclone atlantique dresse une barrière méridienne, et à l'est une vaste zone dépressionnaire s'allonge de la Scandinavie à la Libye. Les Midis aquitains sont en marge de la cellule atlantique très marquée; à Biarritz, la pression atmosphérique est supérieure à 1 025 mb. Sur la face occidentale des basses pressions, circulent, très rapidement, un courant perturbé de nord-ouest "tiré" par le jet d'altitude. Ce courant contourne la dépression, et au niveau du golfe de Gênes, les perturbations s'incurvent vers le nord-est. Les trajectoires des flux et des fronts correspondent à celle de la perturbation. L'Aquitaine est donc en marge d'un courant de nord-ouest qui passe sur les littoraux méditerranéens où aucune averse ne s'observe.

La direction des flux est donc un fait majeur, car autrement les hauteurs recueillies devraient être plus fortes dans les stations méditerranéennes plus proches

des perturbations. L'examen des cartes de vitesses verticales confirme ce fait; aux niveaux 600 mb et 800 mb la subsidence règne sur l'ensemble des Midis; elle est maximum sur le toulousain et minimum sur la côte-d'Azur. Inversement, la direction des flux permet d'expliquer le renforcement des averses sur le piémont pyrénéen. La situation générale d'altitude et de surface rend compte seulement de la médiocrité des averses.

e - Les chutes du 2 juin 1972

L'exemple du 2 juin 1972 est un type méridien de sud ne donnant que des pluies régionales sur le seul littoral aquitain. Quelques averses sont recensées, lit-on sur la légende du BQE, dans le sud-ouest; très faibles, inférieures à 2 mm, elles sont limitées au littoral.

En altitude, une crête peu prononcée remonte sur l'Atlantique au niveau de l'Irlande du nord. Un talweg s'insinue sur le continent atteignant la latitude de la Loire. Le sud-ouest est donc sous la face orientale d'une crête qui dirige un flux anticyclonique de nord-ouest. La situation est donc parfaitement anticyclonique.

En surface, l'anticyclone atlantique se prolonge par une dorsale de faible intensité sur l'Aquitaine. Au nord, la dépression d'Islande est très creusée. Une perturbation d'ouest nord-ouest traverse dans la journée la France, de la Bretagne aux Alpes septentrionales. Un front froid, animé d'un mouvement d'ouest, ondule sur l'Aquitaine, puis sur les rivages méditerranéens, sans donner de pluies sauf sur le littoral océanique. Des flux de sud progressent à l'avant du front froid.

Les précipitations sont faibles car la situation est anticyclonique à chaque niveau. D'autre part, cette perturbation se frontalyse rapidement, et les Midis sont en situation de marge. La limitation spatiale des

averses sur le littoral s'explique essentiellement par la direction de sud des flux qui subissent un effet de foehn sur les Pyrénées. D'autre part, il est certain que l'effet littoral maintes fois décrit intervienne.

11.1.2 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE HUIT

a - Les pluies du 1^{er} janvier 1972

La situation du 1^{er} janvier 1972 est un premier exemple de type perturbé norvégien de la classe sept. Des précipitations sont recueillies dans la plupart des pluviomètres pendant la nuit de la Saint Sylvestre, sauf en pays basque. Les hauteurs mesurées, médiocres en Aquitaine, 2 mm à Bordeaux et à Toulouse, sont plus fortes sur les côtes méditerranéennes, notamment à l'est du Rhône.

En altitude, une zone dépressionnaire presque fermée est installée sur la France, et elle se prolonge par un talweg basculé vers l'Atlantique. Dans cette dépression, un centre secondaire stagne au-dessus du Languedoc, lié à une goutte plus froide comme en témoigne la carte des températures pseudo adiabatiques potentielles du thermomètre mouillé. Sur la face orientale de ce complexe froid, une advection chaude remonte vers le nord et atteint les Iles Britanniques. Une petite langue chaude s'insinue en coin dans la dépression au niveau des Alpes et du Massif Central. Les cartes d'altitude 300 et 200 mb montrent le caractère dynamique de cette dépression, son décalage vers le nord, rappelant que les centres d'action ne sont pas des colonnes verticales, mais obliques. Dans la journée, cette dépression se referme sur elle-même et s'isole au sein d'une crête de grande ampleur.

En surface, un puissant anticyclone, centré sur la

Norvège, se prolonge sur l'Europe centrale, et dirige des flux d'est nord-est froids. Au sud, s'observent des cellules dépressionnaires; la plus importante pour les Midis est installée sur le golfe du Lion; elle se déplace lentement vers l'est en se comblant selon les cartes du BQE. La ligurienne montre la persistance d'une faible dépression au large de la côte toulonnaise, centre régional dont l'origine est double; en effet, elle n'est que la trace de la cellule qui s'évanouit à l'est, trace renforcée par les conditions géographiques, notamment thermiques. Sur la Méditerranée, une perturbation remonte vers le nord-est par la plaine du Pô. Un front occlus s'insinue sur les Midis, traverse la France en remontant vers le nord. La carte masse d'air montre que ce front sépare de l'air convectif normal, et de l'air cinématique à peine plus chaud au sud, tandis qu'une masse d'air plus fraîche s'étend au nord.

Les flux sont d'est avec des composantes régionales nuancées; par exemple, ils soufflent d'est sud-est en Aquitaine méridionale, expliquant ainsi l'anomalie négative sur le pays basque. En Roussillon, ils s'orientent au nord-est, rendant compte de la médiocrité des hauteurs. A l'est du Rhône, la trajectoire est franchement d'est; l'accroissement des averses vers le golfe de Gênes a pour origine le déplacement de la dépression, la proximité de la perturbation, et plus encore le centre régional. Une hausse généralisée des pressions, et la faible différence thermique entre des masses d'air "normales" rendent compte de la médiocrité des pluies.

b - Les chutes du 26 mars 1972

Les pluies généralisées du 26 mars 1972 constituent un second exemple. En Aquitaine, les hauteurs très médiocres sur le littoral océanique augmentent dans les stations intérieures et vers le sud : 1 mm à Bordeaux,

2,5 mm à Toulouse, et plus de 10 mm à Saint-Gaudens. Dans le sud-est, les averses sont plus copieuses; les variations spatiales opposent le bas-Rhône et le Languedoc très arrosés, 36 mm à Marignane, et les provinces extrêmes du Roussillon et de la rivièra niçoise, moins de 1 mm.

En altitude, à l'est d'une dorsale installée sur le proche Atlantique, se dessine un profond talweg de l'Ecosse au golfe du Lion. Une goutte froide persiste sur la face occidentale de cette onde qui surmonte l'Aquitaine. Les Midis méditerranéens, situés sous l'axe du talweg et de sa face orientale, sont sous des flux à courbure cyclonique. Cet ensemble se déplace vers le sud-est, provoque la formation d'une dépression isolée sur la Tunisie dans la soirée.

En surface, l'anticyclone des Açores se prolonge par un col sur l'Europe occidentale, pont avec les hautes pressions continentales. Cette dorsale froide, peu épaisse, est surmontée par le talweg d'altitude. Dans le golfe du Lion, stagne un petit centre dépressionnaire relatif, qui se déplace lentement vers l'est. Un renforcement anticyclonique dans le golfe de Gascogne. Une perturbation très ouverte stagne sur le golfe du Lion; son front chaud traverse les Alpes, tandis que le front froid ondule sur la Méditerranée. Les flux sont de nord-ouest sur l'ensemble des Midis, exception faite du comté de Nice où ils tournent à l'est sur la face septentrionale de la dépression.

Divers faits expliquent le caractère et la distribution spatiale des pluies en Aquitaine. La courbure des flux en altitude, la température faible d'une masse d'air convective normale, une légère inversion dans cette masse d'air visible sur le sondage effectué à Bordeaux, et le renforcement anticyclonique sont les causes de la médiocrité des précipitations. Leur renforcement, non généralisé, sur des espaces limités au

piémont pyrénéen, a pour origine un tourbillon dépressionnaire de faible étendue visible sur les cartes tri-horaires. Le système local va à l'encontre de la dynamique du système général, et parvient à provoquer, sinon des averses fortes, du moins des pluies non négligeables supérieures à 10 mm. En outre, s'ajoute l'effet orographique sur ce système spatialement limité, mais très actif.

La distribution des pluies en Méditerranée s'explique aussi par la conjugaison de systèmes d'échelle différente. Les pluies sont très faibles en Roussillon où la tendance anticyclonique se renforce en surface et en altitude, et soumis aussi à un effet d'abri. Le maximum du bas-Rhône a pour origine la position de l'axe du talweg en altitude, lieu d'ascendance maximum. Le renforcement des averses jusqu'à Toulon a pour cause un système local, la convergence des flux de nord-ouest et d'est, d'autant plus que ce dernier est d'origine cinématique normale. Cette zone de convergence est à l'origine du renforcement pluviométrique. Contrairement à l'Aquitaine, les systèmes généraux et locaux agissent dans le même sens et provoquent des pluies diluviennes, sauf en Roussillon.

c - Les pluies du 1er février 1956

Différent est le type de nord-est du 1er février 1956, amorce de la période de froids intenses célèbres. Les pluies sont pratiquement généralisées; seuls des postes rhodaniens ne reçoivent aucune ondée. Ces averses sont très médiocres sur le littoral méditerranéen, 5 mm à Nice, station la plus arrosée. En Aquitaine, l'opposition est forte entre les stations septentrionales et les postes adossés aux Pyrénées, moins de 1 mm à Bordeaux contre 22 mm à Biarritz.

En altitude, règne une situation dépressionnaire

parfaite avec un profond talweg qui s'insinue de la Scandinavie à la Tunisie. Les Midis aquitains sont sous la face occidentale de cette onde tandis que les Midis méditerranéens sont surmontés par l'axe de la vallée planétaire. Une légère dorsale secondaire s'incurve sur les Alpes. L'ensemble n'évolue pratiquement pas en cours de journée.

En surface, une situation elle aussi typiquement méridienne, s'observe. L'anticyclone atlantique, peu développé, installé au large du golfe de Gascogne, est directement relié à l'anticyclone scandinave très ample et très intense, 1 045 mb, qui progresse sur toute l'Europe, y compris la France méridionale. Une petite zone dépressionnaire, centrée sur le versant adriatique de l'Italie, se décale rapidement vers le sud-est. La situation évolue peu, sauf la progression de l'anticyclone scandinave qui provoque une chute brutale des températures, de l'ordre de 6 à 15° C suivant les régions. Des flux froids de nord-est d'air polaire continental repoussent l'air polaire maritime frais; séparant les deux masses d'air, un front froid ondule dans le col entre les deux anticyclones. Il est aspiré vers le sud-ouest par les flux de surface.

La faiblesse des précipitations s'explique essentiellement par la structure thermique des masses d'air froides en présence; il s'ajoute l'effet de foehn sur les Midis méditerranéens qui rend compte de la médiocrité des averses. Cet effet est maximum dans la vallée du Rhône, où s'installe un puissant mistral subside. Les maxima du piémont pyrénéen et du comté de Nice relèvent de mêmes mécanismes régionaux. Sur le littoral de la côte-d'Azur, le flux froid de nord-est, descendant des cols, soulève une mince pellicule chaude méditerranéenne et cette intrusion provoque une légère augmentation des pluies. En Aquitaine, les flux chauds émis par l'anticyclone atlantique qui stagnait,

sont eux aussi soulevés par l'infiltration froide de nord-est; à ce mécanisme s'ajoute l'effet orographique provoqué par les Pyrénées.

d - Les précipitations du 22 juin 1968

Dans la nuit du 22 au 23 juin 1968 et dans la journée suivante, de fortes pluies sont recueillies sur l'ensemble des Midis. Très fortes sur tout le littoral atlantique, même en pays basque, elles diminuent dans l'intérieur, particulièrement au pied des Pyrénées. Dans le Roussillon et le Languedoc méridional, les hauteurs relevées, nettement plus faibles, sont inférieures à 5 mm. Dans le delta rhodanien, les basses terres sur la rive gauche sont plus arrosées; ce maximum pluviométrique s'atténue progressivement à l'est, mais 13 mm sont encore recueillis à Nice.

En altitude, un profond talweg, centré sur l'Irlande, atteint l'Espagne septentrionale. Les Midis sont sous la face orientale de ce talweg, donc sous un flux cyclonique. Une diffluence s'observe sur les Midis méditerranéens; les différentes cartes du niveau 700 mb montrent le déplacement du talweg vers l'est, axé sur l'Aquitaine intérieure et le Roussillon en fin d'après-midi.

En surface, l'anticyclone atlantique, décalé vers le sud-ouest, est centré sur le 32^{ème} parallèle. Au nord de cette cellule, se déplacent des basses pressions morcelées. Enfin, un anticyclone peu marqué surmonte les Carpathes. Dans le couloir dépressionnaire circulent des perturbations d'ouest, qui au niveau du continent tendent à se déplacer vers le nord-est, si bien que les points doubles ou triples sont au nord des régions méridionales. Un front froid traverse les Midis avec une trajectoire d'ouest nord-ouest. A l'avant de ce front, des flux de sud-ouest humides et chauds sont

à l'origine des précipitations. Le sondage disponible pour Nîmes montre la présence d'une masse d'air convective convergente sans inversion, sauf une très légère, au niveau 850 mb.

La direction précise des flux rend compte des variations spatiales de la pluviosité; le minimum pluviométrique enregistré sur le Roussillon et ses annexes est dû aux Pyrénées, abri protecteur. De même, la dissymétrie observée dans le delta rhodanien s'explique par la direction des flux qui heurtent de plein fouet les Préalpes, mais qui s'écoulent parallèlement à la Cévenne. D'autre part, sur la région marseillaise et à l'est une petite dépression secondaire se forme, invisible sur les cartes du BQE; elle explique les pluies encore fortes sur la côte-d'Azur, partiellement abritée de ces flux de sud-ouest. La situation régionale accentue et relaie la situation générale. Les précipitations sont fortes, car la situation en altitude est favorable, et la nature des masses d'air est un facteur supplémentaire; sur l'Aquitaine circulent des masses convectives convergentes et sur les littoraux méditerranéens des masses d'air cinématique convergentes. Ce type de sud-ouest, simple, démontre le rôle prépondérant de la direction des flux.

e - Les chutes du 17 mai 1971

Le 17 mai 1971, des pluies tombent sur l'ensemble des Midis; très faibles sur le littoral atlantique, moins de 0,6 mm à Bordeaux et dans le pays basque, leur intensité augmente en Aquitaine intérieure. Dans les plaines du Roussillon et en Provence, elles sont aussi très faibles, mais le Languedoc est très arrosé, plus de 20 mm à Nîmes.

En altitude, un talweg étroit mais très profond, parsemé de gouttes froides, atteint le sud marocain;

l'Aquitaine est surmontée par des basses pressions parfaites, le talweg mordant sur le continent. Les Midis méditerranéens sont sous la face orientale de cette onde planétaire, et l'air chaud animé d'un mouvement cyclonique remonte vers le nord. Cette situation typiquement méridienne évolue peu dans le temps.

En surface, un anticyclone est installé à la latitude de Terre-Neuve. A l'est, une immense zone dépressionnaire recouvre toute l'Europe, et se prolonge en Afrique du nord. Elle est divisée en de multiples cellules dont une installée sur la France du nord, et une seconde moins nette sur le Portugal méridional. La situation évolue très lentement au cours de la journée, et le seul fait notable est l'apparition d'une modeste cellule anticyclonique relative (1 005 mb) au large de la Catalogne. Dans cette zone dépressionnaire, en liaison avec les différents centres, s'observent des perturbations méridiennes de sud, accolées les unes aux autres, et dont les fronts ne présentent aucun mouvement caractéristique; orientés nord-sud, comme les perturbations ils remontent lentement vers les latitudes septentrionales. Les fronts quasi-stationnaires en fin de soirée affectent uniquement l'Aquitaine, plus particulièrement l'Aquitaine océanique.

Dans toutes les régions méridionales les flux sont à composantes de sud-est, et même d'est sud-est sur l'extrémité orientale de la Provence; ils tournent au nord-est en fin de soirée, sur l'Aquitaine septentrionale. Ces flux épais et humides, en provenance de la Méditerranée, sont à l'origine des précipitations. Les variations spatiales de la pluviosité s'expliquent par différents facteurs. En Aquitaine, les flux de sud, partiellement asséchés, divergent à partir du couloir de la Garonne et s'amincissent; malgré la présence constante de fronts, les averses sont médiocres, sauf en Aquitaine centrale, moins éloignée de la source ori-

ginelle des masses d'air humides. Sur les littoraux méditerranéens, les faibles pluies en Provence et en Roussillon ont des causes différentes. En Provence, les flux tournent du sud-est à l'est et les reliefs préalpins forment alors un écran protecteur. Les plaines, sur la rive gauche du Rhône, constituent l'ensemble le moins arrosé, aucune ondée à Marignane. L'absence de perturbation, est un autre facteur et les pluies sont essentiellement d'origine orographique. En Roussillon, la médiocrité des averses est due à la présence du modeste anticyclone, formé dans la journée sur la mer.

Ce type de sud-est généralisé n'est donc pas parfaitement classique, car des mécanismes secondaires interviennent. Une fois encore, le déplacement des perturbations apparaît secondaire; ces courants inverses, sur la face orientale d'un anticyclone, sont très lents, ce qui rend compte de la persistance des pluies pendant plusieurs jours.

f - Les chutes du 11 octobre 1972

Les pluies du 11 octobre 1972 correspondent à une remontée chaude de sud sud-est. En Aquitaine les hauteurs recueillies, faibles, augmentent du littoral vers l'intérieur, 5 mm à Bordeaux contre 18 mm à Toulouse. Sur le littoral méditerranéen, à l'ouest du Rhône, les ondées sont médiocres, moins de 3 mm à Perpignan; au contraire, à l'est des totaux records sont enregistrés, 100 mm à Marignane de 6 à 18 heures, hauteur supérieure à la moyenne mensuelle, et 76 mm à Nice.

En altitude, une dépression, centrée au large de la Bretagne, mordu sur l'ensemble des Midis; elle se déplace vers le sud, et reste très active car elle est liée à une goutte froide qui se réchauffe très lentement. La situation est donc parfaitement cyclonique.

En surface, une situation méridienne des centres

d'action s'observe aussi. L'anticyclone atlantique est prolongé par un second noyau au nord, qui atteint la latitude du Groenland. A l'est, dans un couloir dépressionnaire s'individualisent des cellules dont deux intéressent les Midis. La première, stagne au large des Charentes, et la seconde, s'engouffre dans le delta rhodanien. Dans chaque centre d'action une perturbation se développe sur le front froid par ondulation, donnant ainsi une structure étagée caractéristique des courants perturbés. La perturbation méditerranéenne remonte plus rapidement vers le nord-est. Les flux ont une composante générale de sud-est, avec cependant de très faibles variations lors du passage des fronts.

Cette situation explique la répartition spatiale des précipitations, notamment le maximum signalé à l'est du Rhône. Sur l'Aquitaine centrale, un front froid se déplace, se frontolyse et donne les précipitations les plus fortes. Dans le comté de Nice, une fois encore, une dépression secondaire provoque la recrudescence des précipitations.

g - Les neiges du 27 décembre 1970

Les précipitations neigeuses du 27 décembre 1970 correspondent à une situation de nord nord-est. Les hauteurs d'eau, tombées sous forme de neige, sont importantes, notamment dans le delta rhodanien au coeur de la zone "sinistrée". A l'ouest et à l'est, les chutes sont moindres; la décroissance est plus rapide à l'est, 13 mm à Nice contre 23 mm à Perpignan.

Pour décrire cette situation, on dispose de l'étude des ingénieurs d'Aix-en-Provence (1). En altitude, une cellule anticyclonique est installée sur l'Islande. A l'est, une vallée planétaire, orientée nord-est -

(1) S. Dahoui, M. Frasse, P. Quermel, Rigueur des hivers sur le sillon rhodanien et la basse vallée du Rhône (95).

sud-ouest, est axée de la mer Blanche aux Açores; dans ce talweg s'individualisent des gouttes très froides, dont la température est inférieure à -35°C . Les flux de sud-ouest, qui surmontent les Midis, ont une courbure cyclonique. La situation en altitude est donc très favorable aux précipitations.

En surface, un anticyclone atlantique est soudé par un col aux hautes pressions continentales. Au sud, une série de dépressions s'égrenent sur le bassin occidental de la Méditerranée. Ces dépressions et les perturbations associées ont une composante de sud-ouest, mais sur les rivages méditerranéens les flux soufflent du nord nord-est. Les sondages de Nîmes font apparaître les trois couches classiques (2) par chutes neigeuses : une pellicule très froide, généralement continentale, surmontée par un flux perturbé plus chaud, de sud dans l'exemple du 27 décembre, et enfin au-dessus, un courant plus rapide, plus ou moins zonal.

La situation générale explique l'ampleur des précipitations et leur forme neigeuse due aux caractères thermiques des masses d'air en présence. Le maximum du bas-Rhône a pour origine la trajectoire précise des perturbations qui s'engouffrent dans le sillon rhodanien. Aux caractères aérologiques s'ajoute donc l'effet du relief qui accentue les ascendances dans le flux perturbé de sud. Cette opposition des directions de flux à différents niveaux, les cisaillements qui en résultent, ne sont nullement exceptionnels dans le domaine méditerranéen.

h - Les chutes du 15-16 juin 1971

Dans la nuit du 15 au 16 juin 1971 de faibles précipitations, inférieures à 2 mm, sont recueillies dans

- (2) A. Dauphiné, Les chutes de neige sur le littoral méditerranéen du sud-est français (98).

les stations de l'Aquitaine intérieure. Ces pluies médiocres sont spatialement très dispersées. L'analyse précise des relevés montre qu'un grand nombre de postes n'ont pas été arrosés.

En altitude, à l'intérieur de "hautes pressions", s'observe une dépression secondaire très prononcée, liée à une goutte froide; cette dépression est installée sur la Hollande. Au sud-ouest de ce centre, une apophyse sous forme d'un talweg orienté nord-est sud-ouest, se prolonge sur toute la péninsule ibérique. L'Aquitaine centrale est sous la face occidentale de la dépression, pratiquement sous l'axe de convergence maximum, position encore plus nette sur les cartes 300 et 200 mb.

En surface, l'anticyclone atlantique se prolonge par une dorsale sur la France et les Iles Britanniques. A l'est, une dépression est centrée sur l'Europe centrale; dans cette dépression, une perturbation remonte vers le nord-est. Un front quasi stationnaire fait suite au front froid de cette perturbation et s'insinue jusqu'en Aquitaine centrale, comme le montre les cartes tri-horaires, qui contredisent la carte de surface du BQE. A ce front est associée une ligne de cumulus, formés dans une masse d'air du type Km chaude. Les sondages montrent que cette masse d'air est saturée; sur l'Aquitaine atlantique se déplace une masse d'air convective divergente avec une très nette inversion, qui bloque les ascendances. Les flux sont de sud sud-ouest à l'avant du front.

L'absence de pluie sur l'Aquitaine océanique s'explique essentiellement par la divergence en altitude et en surface, très marquée sur les sondages de Bordeaux. La faiblesse des précipitations sur l'Aquitaine centrale a pour cause la direction des flux et donc l'effet protecteur du relief, mais aussi le fait que cette région est en marge de la perturbation. La dispersion spatiale

s'explique aussi par ce phénomène. La sécheresse sévit sur les littoraux méditerranéens; malgré une situation de goutte froide favorable en altitude, et une masse d'air très saturée comme le prouve le sondage de Nîmes. Cette absence de pluie est difficilement explicable, et il faut faire intervenir la courbure du front au nord des Alpes.

i - Les pluies du 4 janvier 1974 (Fig 11.3)

Les précipitations du 4 janvier 1974, recueillies dans le delta rhodanien, correspondent à un type norvégien de sud-est. La dissymétrie des hauteurs recueillies est caractéristique; à Nîmes on enregistre 11 mm contre seulement 0,6 mm à Marignane, sur la face orientale du delta; Toulon, station non abritée, reçoit 10 mm, mais les averses s'arrêtent en cours de journée.

En altitude, les pressions sont inférieures à la normale; l'isohypse 556 mb s'incurve et atteint l'Afrique du nord. Un talweg principal est installé sur tout l'Atlantique, et les Midis sont situés sous la courbure cyclonique des flux. La diffluence d'altitude est un troisième facteur favorable aux précipitations auquel il faut adjoindre une goutte froide sur l'Aquitaine centrale, qui se déplace vers l'est en cours de journée. Malgré cet ensemble de critères favorables, les cartes de vitesses verticales à 600 et 800 mb ne montrent pas une ascendance marquée sur les régions méridionales; les flux sont "neutres" ni ascendants, ni subsidents. Cet exemple démontre la fragilité des analyses classiques.

En surface, un centre dépressionnaire très vaste et très creusé (950 mb), centré sur l'Atlantique central, mord sur la France occidentale. Les rivages méditerranéens sont en situation de col, entre l'anticyclone atlantique installé sur le Maroc, et l'anticyclone

continental de la mer Noire. Dans la journée, les pressions se renforcent comme le prouvent les cartes de variations de pression en 24 heures. Un front froid s'insinue de l'Islande à l'Afrique du nord, et suit la vallée du Rhône; il correspond à une perturbation atlantique, bloquée par les hautes pressions continentales, qui prend une composante sud-nord. A l'avant de ce front froid, remontent des flux de sud sud-est, dirigés par les hautes pressions orientales, et à l'arrière de cette discontinuité soufflent des flux de sud-ouest. La différence thermique entre les masses d'air, faible, explique la médiocrité des précipitations le long de ce front.

L'expansion spatiale des précipitations est aussi très limitée à cette discontinuité. Bien que la situation en altitude soit très favorable, et que le front stagne sur le delta rhodanien, les hauteurs d'eau sont médiocres car le contraste massique est médiocre. D'autre part, l'ascendance est faible, facteur tyrannique pour rendre compte des hauteurs. La variabilité spatiale et la dissymétrie entre les deux rives, a pour cause la direction de sud-est des flux; les espaces orientaux étant en position d'abri, sont moins arrosés.

j - Les chutes du 8 janvier 1969 (Fig 11.4)

La situation du 8 janvier 1969 est un exemple de précipitations de la classe huit. Les pluies ont commencé à tomber dès le 7 janvier dans le delta rhodanien, 5 mm à Nîmes. Elles se renforcent dans la nuit du 7 au 8, 33 mm à Toulon; d'autre part, l'onde pluvieuse se décale vers le golfe de Gênes, mais en même temps des averses sont aussi recueillies en Aquitaine, sauf en pays basque.

En altitude, la situation est parfaitement dépressionnaire; les pressions sont inférieures à la moyenne,

et surtout les flux ont une courbure cyclonique. En outre, une goutte froide est installée sur le golfe de Gênes. Cette situation persiste jusqu'au niveau 200 mb. La carte des T' à 700 mb montre une advection chaude africaine de sud, séparée par un front froid de la coulée froide. Cette remontée est axée sur le littoral méditerranéen.

En surface, une cellule anticyclonique dédoublée stagne sur l'Espagne et le Maroc; à l'est, en Russie est installé un anticyclone qui déborde sur l'Europe centrale et atteint l'Italie septentrionale. Entre les deux un couloir dépressionnaire s'élargit au nord sur l'Irlande et au sud sur la Méditerranée. Dans la dépression méditerranéenne des perturbations de sud-ouest atteignent en soirée l'Italie, et leur point triple a circulé sur le littoral en cours de journée. Cette dépression dirige un flux d'est à l'avant du front froid.

Les pluies sont dues à la situation générale très favorable aux ascendances; ascendances frontales, de convergence et thermodynamiques se combinent pour provoquer de fortes chutes. Le passage des fronts en surface et la direction des flux à tous les niveaux expliquent la répartition spatiale des chutes. Immédiatement après le passage du front froid, les pluies cessent car l'air froid postérieur prend une composante nord-sud.

11.1.3 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE NEUF

a - Les précipitations du 3 février 1974
(Fig 11.5)

La situation du 3 février 1974 est un premier exemple de précipitations de la classe neuf; en outre, leur répartition spatiale s'explique très bien par la théorie des systèmes ouverts. Des pluies sont recueillies sur

l'ensemble des Midis, sauf dans la vallée de la Garonne, de Bordeaux à Agen. Les hauteurs enregistrées faibles en Aquitaine, sauf sur le piémont pyrénéen, s'accroissent en Méditerranée, notamment à l'est du Rhône, plus de 30 mm en vingt quatre heures à Toulon et Nice.

En altitude, la situation est parfaitement dépressionnaire, la pression étant inférieure à la normale et les isohypses dessinant une vallée planétaire. Ce talweg qui atteint la latitude du détroit de Gibraltar se déplace vers l'est, et surmonte le golfe de Gênes en fin de soirée comme l'attestent les cartes successives du niveau 200 mb; l'Aquitaine est alors sous la face "anticyclonique" de l'onde. Les cartes de vitesses verticales et de divergence font apparaître des ascendances violentes. A 00 h TU sur Perpignan, au niveau 800 mb, l'indice de circulation verticale, inférieur à -50, témoigne de l'importance de ce flux. La carte de divergence qui intègre les niveaux 800 et 600 mb situe le coeur de l'ascendance sur les Baléares, démontrant des décalages spatiaux importants des flux verticaux suivant l'altitude.

En surface, la situation, zonale à l'échelle de l'Europe, est méridienne à l'échelle des Midis; l'anticyclone atlantique, allongé d'ouest en est, se prolonge sur l'Aquitaine par une dorsale qui se développe dans la journée. Une dépression peu creusée circule des Baléares au golfe de Gênes. Sur sa face orientale remonte une perturbation; elle atteint le littoral au fond du golfe de Gênes, expliquant les pluies records reçues par les stations ligures. Le secteur chaud de la perturbation est formé d'un flux de sud qui prend une composante d'est sur les rivages méditerranéens, flux épais comme l'atteste le sondage d'Ajaccio.

Les hauteurs, relativement élevées, ont pour cause la situation générale fortement perturbée sur la Méditerranée, mais les paroxysmes positifs ou négatifs

régionaux ont pour origine l'interférence de systèmes régionaux. Une basse pression varoise, dessinée sur les liguriennes, explique le renforcement des pluies sur cette région entre le Luc (90 mm) et Saint-Raphaël (80mm). En Aquitaine, la sécheresse de l'axe de la Garonne a pour origine un anticyclone local visible sur les cartes tri-horaires; la rétroaction est donc négative, la situation régionale parvenant à annuler les effets prévisibles de la situation générale. Certes, le bordelais est éloigné du centre dépressionnaire, mais ceci reste vrai pour Biarritz où des ondées sont recueillies.

b - Les chutes du 12 juin 1968

Le 12 juin 1968 correspond à un type huit local par flux d'est -nord-est. Quelques pluies sont recueillies dans le comté de Nice et à Montpellier, pluies fines qui donnent moins de 2 mm; d'autre part, ces pluies sont éparses.

En altitude, une dorsale centrée sur le proche Atlantique et l'Aquitaine, remonte jusqu'aux latitudes scandinaves. Elle est légèrement basculée vers l'est. Sur sa face orientale, un talweg secondaire se dessine avec une goutte froide sur les Alpes; la situation est donc anticyclonique imparfaite. La dépression secondaire se déplace vers le sud-ouest comme le montrent les cartes de température pseudo adiabatiques potentielles du thermomètre mouillé.

Au sol, des hautes pressions prennent en écharpe le continent, mais les rivages méditerranéens, où règne un marais barométrique, échappent à cette influence anticyclonique. Dans ce marais barométrique ondule un front quasi-stationnaire; il correspond à un système perturbé de sud-ouest remontant de l'Espagne vers les régions méditerranéennes. Ce front est animé d'un lent mouvement méridien de sud. Les flux, d'est nord-est

sur l'ensemble des littoraux méditerranéens, sont mieux organisés à l'est du Rhône car une dépression secondaire stagne au large de la Corse. Ce centre a une évolution thermique très caractéristique révélée par les cartes tri-horaires.

La direction des flux, un front peu actif et les hautes pressions d'altitude rendent compte de la médiocrité des averses. Le caractère épars des averses a pour origine le complexe direction des flux-orientation des reliefs. Les types perturbés à composante méridienne de nord ne donnent que des pluies éparses dans la majorité des cas.

c - Les pluies du 16 juin 1968 (Fig 11.6)

Le 16 juin 1968 de faibles précipitations sont relevées en Aquitaine intérieure, 3 mm dans les deux stations de Toulouse et Saint-Girons, et moins de 0,6 mm à Agen. D'autre part, une faible ondée humidifie le pays montpelliérain, averse qui est très locale.

En altitude, un talweg centré sur l'Atlantique central atteint les latitudes mauritaniennes. Il est relayé à l'est par une crête qui surmonte toute l'Europe. A l'intérieur de cette dorsale, de Nantes à la côte-d'Azur, s'étire une mince goutte froide associée à une dépression secondaire, en voie d'être résorbée.

En surface, les cartes du BQE font apparaître une zone de marais barométrique sur toute la France, et les flux ont des directions multiples. La carte de 18 heures montre un léger anticyclone dans le golfe de Gascogne. Aucun front n'apparaît sur ces cartes générales et les précipitations semblent ne pas correspondre au modèle norvégien.

Les cartes tracées par les services régionaux sont plus précises. A 0 h TU, trois fronts orientés ouest-est sont dessinés. Au nord sur la Hollande, s'observe un front froid, d'ailleurs représenté sur la carte de sur-

face du BQE de 6 TU; il correspond à un courant de sud-ouest qui circule hors des Midis; au sud un front stationnaire contourne le massif Alpin, et enfin un troisième front occlus serpente sur les rivages méditerranéens.

Ces trois fronts se déplacent lentement vers le sud. A 18 heures TU, le front quasi stationnaire est passé sur le littoral méditerranéen; le front froid, bloqué sur les Alpes du nord, s'insinue par la vallée du Rhône sur le Languedoc et en Aquitaine intérieure. A l'avant de ce front circule un flux de sud-ouest convectif normal dans lequel se produisent les précipitations.

L'absence de pluie en Aquitaine océanique correspond à l'absence de front, et à l'est du Rhône, les Alpes constituent une barrière. D'autre part, les cartes précises démontrent le rôle des centres locaux; une petite dépression très réduite s'observe sur la région de Montpellier, et une seconde plus vaste sur les pays toulousains et leurs annexes méridionaux. Les averses sont étroitement liées à ces centres secondaires de surface.

Cet exemple montre la conjonction des trois "facteurs" suivants : la présence d'un front froid dont la trajectoire est de nord, des flux de sud-ouest, et des centres locaux très actifs. Par contre la position de la goutte froide en altitude n'est pas fondamentale, car des averses brutales devraient alors tomber sur la côte d'Azur.

d - Les chutes des 18-19 octobre 1968 (Fig 11.7)

Les 18-19 octobre 1968 est un autre exemple de précipitations de la classe neuf. Des pluies très faibles, inférieures à 2 mm sont recueillies en Aquitaine centrale et en Roussillon Languedoc; en outre, elles sont éparses et irrégulières. Cette ondée se déplace très

lentement de l'Aquitaine vers la Méditerranée.

En altitude, la situation est parfaitement anticyclonique; une crête, axée sur la France atlantique, atteint le cercle polaire. Elle correspond à une remontée chaude très vigoureuse comme l'atteste la carte des T' à 700 mb. La situation n'est donc pas favorable aux ascendances.

En surface, une cellule dépressionnaire très creusée (970 mb) est installée sur l'Atlantique; sur L'Europe, une dorsale anticyclonique se désagrège vers le sud, en Méditerranée et en Aquitaine. Au nord, une perturbation largement ouverte est installée sur l'Ecosse. On se trouve à la limite du modèle norvégien; est-on dans le secteur chaud de la perturbation ? Les cartes de surface montrent en fait l'apparition d'une dépression secondaire au large du littoral varois, mais il n'y a pas concordance parfaite avec la répartition spatiale des précipitations. Les averses se déclenchent à l'intérieur d'une masse d'air homogène; la petite poussée froide en altitude (T') et les fortes températures en surface, 29° C à Perpignan, laissent supposer une origine thermique et thermodynamique, avec influence de centres locaux.

11.1.4 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE DIX

a - Les chutes du 10 avril 1973 (Fig 11.8)

Les précipitations recueillies sur le littoral méditerranéen le 10 avril 1973 correspondent à des flux d'ouest. La répartition spatiale des pluies est originale; un maximum est centré sur le delta rhodanien, plus de 25 mm en cours de nuit. A l'ouest et à l'est du bas-Rhône, les pluies décroissent, moins de 1 mm à Perpignan.

En altitude, la situation est parfaitement cyclo-

nique. Une vallée planétaire s'étend de la Scandinavie à l'Algérie. Au fond de ce talweg évasé, une goutte froide est installée au sud des Pyrénées, et un flux de sud sud-est remonte sur la face orientale de ce centre d'action. La situation à 500 mb est donc favorable aux fortes averses; aux niveaux 300 et 200 mb, cette même configuration méridienne dépressionnaire persiste.

En surface, la situation est en phase. L'anticyclone atlantique centré au large de l'Irlande s'étend du Groenland au Maroc; à l'est, un couloir dépressionnaire s'insinue de la Scandinavie à la Tunisie. Dans ce couloir une dépression bien creusée (990 mb), installée sur la plaine du P⁸, se décale vers le nord-est. Sur la face méridionale de ce centre d'action, soufflent des flux d'ouest, flux méridiens de nord qui prennent cette trajectoire seulement aux latitudes méditerranéennes. La carte masse d'air et la faiblesse des températures minimales prouvent l'origine nordique de ces flux. Une perturbation contourne à l'est la dépression piémontaise, et se déplace vers le nord-est comme le centre dépressionnaire.

Les Midis méditerranéens sont éloignés de cette perturbation, et la répartition spatiale des pluies ne correspond nullement à la situation de surface; en effet, la Corse et la côte-d'Azur devraient enregistrer les plus fortes averses. La ligurienne atteste la présence d'une dépression secondaire installée sur la montagne niçoise, si bien que des flux de nord continentaux dévalent les pentes, et prennent une composante d'ouest sur le littoral; l'effet de subsidence orographique et l'origine continentale des flux expliquent la médiocrité des pluies. Le maximum pluviométrique du bas-Rhône a pour origine la situation en altitude, la présence de la goutte froide dans laquelle s'incruste la remontée chaude. Les pluies se forment dans ce flux méridien de sud d'altitude, et on comprend l'originalité

de cette situation, qualifiée d'ouest; en réalité, la situation générale méridienne devient zonale à l'échelle des littoraux méditerranéens.

b - Les pluies du 20 août 1971

Le 20 août 1971 est un exemple presque classique de précipitations par flux de sud-est sur les littoraux méditerranéens. Des pluies inférieures à 5 mm sont observées sur tout le domaine méditerranéen, sauf en Roussillon; la côte-d'Azur apparaît comme "priviligée", 11 mm à Nice-aéroport.

En altitude, les hautes pressions remontent au nord de la Scandinavie, mais à l'intérieur de cette dorsale, une goutte froide, centrée sur le golfe de Gascogne, dirige sur sa face orientale un flux cyclonique de sud. Cette goutte froide se déplace lentement vers l'est, atteignant l'Autriche en fin de soirée. La situation d'altitude est donc imparfaitement anticyclonique.

En surface, une série de noyaux anticycloniques sont orientés sud-ouest nord-est. La France, province méditerranéenne comprise, est dans une zone de basse pression peu marquée, et formée de noyaux individualisés. Les cartes tri-horaires attestent la présence d'un noyau dépressionnaire au large de la Provence. Ce centre régional dirige des flux de sud sud-est humides, très chauds, à l'avant du front occlus d'une perturbation méridienne de sud-ouest. Sur les cartes tri-horaires, en tenant compte des différences thermiques, les météorologues ont dessiné un front froid qui ondule au niveau du littoral.

Ces caractères expliquent la distribution des averses. Le Roussillon, à l'écart du centre dépressionnaire et du front, ne reçoit aucune ondée. Les pluies observées à Perpignan, en fin de soirée, ont une autre

origine. Les pluies sont plus importantes à l'est de Toulon car le tracé du littoral est perpendiculaire aux flux, et cet effet physique s'ajoute aux autres facteurs. Malgré la présence de nombreux facteurs très favorables, les intensités sont moyennes, sinon médiocres, car la position est marginale par rapport à la goutte froide d'altitude; Genève reçoit 32 mm contre 11 mm à Nice, station pourtant littorale.

c - Les chutes du 14 février 1974 (Fig 11.9)

Les précipitations du 14 février 1974 constituent un exemple de pluies de nord-ouest, issues d'une traine. Des pluies sont recueillies dans tous les postes méridionaux, sauf en Roussillon et en bas Languedoc. Ces averses nocturnes sont médiocres, notamment sur les littoraux méditerranéens, moins de 2 mm en moyenne. En Aquitaine, aucune variabilité spatiale ne se dégage de la lecture des cartes, sauf un accroissement ponctuel dans quelques postes pyrénéens.

En altitude, la situation est parfaitement dépressionnaire sur les rivages méditerranéens; la pression est inférieure à la normale, et l'axe d'un talweg s'insinue de l'Islande à la Sicile. Les Midis aquitains sont surmontés par la face occidentale de ce talweg, par des flux de nord-ouest à courbure anticyclonique, du moins au niveau 500 mb, car sur la carte 200 mb l'axe du talweg est centré sur le toulousain. La carte des vitesses verticales à 800 mb complète cette analyse. Un noyau de flux ascendants très rapides, installé entre le golfe du Lion et la Corse, déborde sur l'ensemble des Midis méditerranéens. Une zone de subsidence, centrée sur la région madrilène atteint toute l'Aquitaine, et traduit l'effet généralisé de traine. Cet ensemble évolue vers le sud-est en cours de journée.

En surface, une dépression est installée entre la

Sardaigne et l'Italie; sur sa face occidentale, elle dirige un flux de nord-ouest subsident correspondant à la traine d'une perturbation orientale. Les cartes de variations de pression font bien apparaître la décharge post-cyclonique sur l'Aquitaine, puis sur les rivages méditerranéens.

La situation est peu favorable aux précipitations, notamment sur les rivages méditerranéens où la subsidence orographique, accentue la subsidence dynamique; ainsi le Languedoc et le Roussillon sont totalement secs, le centre dépressionnaire étant loin à l'est. A l'est du delta rhodanien, quelques averses éparses s'observent car les basses pressions sont moins éloignées et, en altitude, le talweg froid provoque des ascendances localisées, surtout sur la mer où l'écart thermique est plus élevé. En Aquitaine, bien que la situation en altitude et en surface soit moins favorable, les averses sont plus copieuses, anomalie qui a pour cause essentielle l'absence de subsidence orographique; l'effet du relief sur les flux de nord-ouest, notamment sur les traines est tyrannique, fait confirmé par l'augmentation des pluies sur le piémont pyrénéen.

11.2 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DU TYPE IV

11.2.1 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE ONZE

a - Les chutes du 15 octobre 1968 (Fig 11.10)

Le 15 octobre 1968 est un exemple de précipitations provoquées par une situation-circulation de la classe onze. Des averses modérées, inférieures à 5 mm, tombent sur l'Aquitaine; le pays basque et le littoral espagnol sont plus arrosés que la côte d'Argent et le toulousain. Dans l'intérieur, les pluies sont spatialement discontinues.

En altitude, la situation est imparfaitement anticyclonique; l'isohype 556 atteint l'Allemagne du nord,

mais l'Aquitaine est sous la face orientale d'une vallée secondaire, axée sur l'Atlantique central. La carte des T' montre une advection chaude de sud-ouest sur l'Aquitaine; elle s'incurve légèrement au niveau du pays basque; le 16 octobre l'air froid postérieur envahit le sud-ouest et les pluies cessent.

En surface la situation est anticyclonique, mais originale. L'anticyclone des Açores est prolongé par un second noyau au large du golfe de Gascogne, dont la structure verticale est différente : il ne s'étend pas dans toute la troposphère. Sur sa face orientale circule des flux de nord-ouest. Un front froid d'un courant perturbé de sud-ouest traverse d'ouest en est l'Aquitaine. Les pluies sont dues à l'ascendance de l'air chaud à l'avant du front; en pays basque, l'effet orographique s'ajoute; cependant les averses sont modérées car la situation de surface ne favorise pas les pluies. Aucune variation régionale n'apparaît comme l'atteste la méso-analyse.

b - Les pluies du 8 août 1968 (Fig 11.11)

Les pluies générales relevées dans toutes les stations le 8 août 1968 sont l'illustration du type trois. Les précipitations, importantes en Aquitaine, décroissent du littoral, 12 mm à Cazaux, vers les plaines intérieures; mais elles augmentent du nord au sud, et Biarritz reçoit des averses copieuses, 54 mm dans la nuit du 7 août et pendant la journée suivante. Sur les rivages méditerranéens, les pluies sont très faibles, toujours moins de 0,6 mm, et ces averses sont éparées.

En altitude, des hautes pressions règnent sur l'ensemble des Midis, mais un talweg secondaire étroit s'insinue vers les latitudes méridionales et atteint la péninsule ibérique. La carte des températures pseudo-adiabatiques potentielles du thermomètre mouillé à

700 mb, représente une goutte froide allongée sur les deux domaines. Au sud, une remontée d'air chaud atteint le pays basque, alors que cette goutte froide est contournée au nord par un flux chaud en voie de désagré-gation.

En surface, l'anticyclone atlantique est relié par un col à une cellule de hautes pressions secondaires établie au large de l'Ecosse; cet ensemble anticyclonique forme une barrière continue. Un complexe dépressionnaire couvre toute l'Europe; une première cellule, centrée sur le bassin parisien, se comble progressivement en se dirigeant très lentement vers le sud-ouest. Sur la face méridionale de cette dépression s'écoulent des flux d'ouest. Un second centre dépressionnaire stagne sur la péninsule ibérique.

En Aquitaine, un front froid se frontolyse sur place. Il a une trajectoire d'ouest -nord-ouest, faisant donc un angle léger avec les trajectoires des flux et des centres d'action. Les littoraux méditerranéens sont envahis par une perturbation jeune de sud-ouest, de la Catalogne aux Alpes.

L'opposition pluviométrique entre les deux domaines s'explique donc essentiellement par la direction des flux. Les rivages méditerranéens, abordés de plein fouet par une perturbation de sud-ouest, sont nettement moins arrosés que l'Aquitaine où un front froid se frontolyse. Malgré une situation "favorable" en altitude, l'effet de l'environnement physique est tyrannique. Le maximum enregistré sur le pays basque est dû par contre à l'originalité de la situation massique en altitude, l'enfoncement en coin de l'air chaud dans l'air froid. Le passage du front froid n'explique pratiquement rien et le modèle norvégien convient à peine.

c - Les chutes du 17-18 novembre 1972

Les précipitations tombées sur l'ensemble des Mides, pendant la nuit du 17 au 18 novembre 1972, cons-

tituent un second exemple. Des pluies sont recueillies dans tous les pluviomètres méridionaux. En Aquitaine, les hauteurs d'eau décroissent de la côte vers l'intérieur, 7 mm à Cazaux contre 2 mm seulement à Toulouse. Sur les rivages méditerranéens, seul Perpignan n'enregistre aucune averse, mais partout les totaux sont très médiocres, sauf dans le comté de Nice.

En altitude, règnent des hautes pressions, mais la courbure des flux est cyclonique. Un talweg, orienté de nord-nord-est, recouvre l'Europe océanique; il correspond à une poussée froide. Les Midis sont sous l'axe du talweg, ou sous sa face orientale, situation favorable aux ascendances. Cette vallée se déplace assez rapidement vers l'est, et atteint en fin de soirée les Balkans.

Au sol, l'anticyclone atlantique, centré sur l'océan, se prolonge par une cellule secondaire de hautes pressions qui remonte au nord de l'Ecosse. A l'est, une dépression sur l'Europe germanique se prolonge par une vallée, qui atteint la Méditerranée. Au fond de ce talweg s'individualise une petite dépression. Cette situation se déplace vers l'est; l'évolution est plus rapide au sud, et la dépression méridionale, installée dans la vallée du Rhône, atteint les Balkans en fin de soirée. Associés à cette dépression, deux fronts froids interfèrent et se déplacent vers le sud-est. Sur l'ensemble des Midis s'écoulent des flux d'ouest.

Les pluies correspondent au passage des fronts froids et de la traine. La direction des flux rend parfaitement compte des variations spatiales des hauteurs de pluie, notamment la décroissance en Aquitaine, et leur absence à Perpignan, abrité sur le littoral méditerranéen; outre l'anomalie du Roussillon, la médiocrité des ondées n'est pas surprenante. Dans le comté de Nice, la recrudescence des ondées a pour origine le passage des fronts froids, et surtout des conditions régionales;

la ligurienne du 18 novembre indique une dépression locale, installée sur la Méditerranée, au large du cap d'Antibes; en voie de comblement, elle ne touche que le littoral. A l'ouest du cap Camarat, lui succède une cellule anticyclonique. Le renforcement des pluies a pour origine la convergence de flux locaux, le premier d'est sur la face nord du centre dépressionnaire, le second de nord-ouest venant de l'intérieur, auquel se heurte le troisième flux général d'ouest. La situation locale aggrave donc les effets du système général.

d - Les chutes du 28 août 1968

Les pluies généralisées du 28 août 1968 correspondent à cette classe trois. Des averses sont recueillies sur toute l'Aquitaine. Elles sont plus importantes sur le littoral que dans l'intérieur, 15 mm à Bordeaux contre 2 mm à Toulouse. Le pays basque n'est pas particulièrement avantagé. Sur le littoral méditerranéen, les pluies faibles, à peine supérieures à celles relevées en Aquitaine intérieure, n'offrent aucune variation spatiale nette.

En altitude, dominant des hautes pressions sur toute l'Europe, mais un talweg secondaire, lié à des gouttes froides, atteint l'Espagne du sud-ouest. Sur le flanc oriental de cette vallée, remonte donc un courant cyclonique de sud-ouest peu marqué. Une large diffluence apparaît au niveau du domaine méditerranéen. La carte des températures pseudo adiabatiques potentielles confirme ce schéma, et montre très bien, la divergence du flux chaud, le courant froid de nord-est.

En surface, anticyclone atlantique et russe sont reliés par un col. Au sud de ces hautes pressions, s'allonge une zone dépressionnaire, fractionnée en plusieurs cellules dont une est centrée au large des Charentes. Sur les Midis, circulent des flux d'est à nord nord-est. Un premier courant perturbé remonte de la côte

portugaise au bassin parisien, traversant très lentement l'Aquitaine. Les fronts froids ne se déplacent pratiquement pas. Une autre perturbation de sud-ouest circule des Baléares au golfe de Gênes.

Par ce type "zonal" d'est, la position des perturbations explique la variabilité spatiale des précipitations. L'Aquitaine océanique est plus arrosée que les plaines intérieures, car la perturbation et plus précisément le front froid stagne sur le littoral. Le lendemain, les traits généraux sont identiques, mais en Aquitaine les fronts se déplacent vers le sud-est, si bien que des maxima pluviométriques sont observés au pied des Pyrénées, où intervient l'effet orographique (39 mm à Saint-Gaudens). En Provence, des dépressions locales apparaissent provoquant un changement d'orientation des flux, et les disparités pluviométriques réapparaissent : Nice reçoit 11 mm, Marignane 27 mm, et Montpellier 2 mm seulement.

e - Les averses du 10 janvier 1972 (Fig 11.12)

Les averses du 10 janvier 1972 sont un exemple de situation norvégienne méridienne de sud. Des précipitations tombent sur l'ensemble des Midis en cours de nuit, puis s'estompent dans la journée, et affectent seulement quelques stations du littoral méditerranéen. La distribution spatiale des hauteurs est très caractéristique; en Aquitaine, elles diminuent du pays basque vers les basses terres septentrionales, moins de 0,6 mm à Bordeaux. Dans le sud-est, Languedoc et côte varoise sont très arrosés; les pluies décroissent vers l'intérieur; 25 mm à Montpellier pour 16 mm à Nîmes; l'écart est encore plus grand entre Toulon et Saint-Auban, deux postes plus éloignés, il est vrai.

En altitude, la circulation rapide sur l'Atlantique se ralentit sur l'Europe, où apparaît très nettement une diffluence. Un talweg secondaire, sur le toulousain,

déborde sur les îles Baléares où stagne une petite dépression, liée à une goutte froide qui se décale vers le sud-est. Dans la journée, ce talweg secondaire est remplacé par une crête anticyclonique, expliquant l'arrêt plus ou moins brutal des averses.

En surface, une situation méridienne en croix typique s'observe. L'anticyclone scandinave au nord est relié par un col à l'anticyclone qui stagne sur le détroit de Gibraltar, apophyse de l'anticyclone des Açores. Sur l'Atlantique, au nord-ouest, est installée une profonde dépression. Au sud-est en Méditerranée, une seconde dépression moins creusée évolue très lentement. Au sein de cette dépression, une perturbation remonte vers le nord, accompagnée d'un flux généralisé de sud qui persiste sur l'ensemble des Midis.

Ce flux correspond à une masse d'air cinématique relativement chaude. Les variations spatiales des hauteurs d'eau enregistrées s'expliquent essentiellement par la nature et la direction de ce flux. En Aquitaine, il prend une courbure anticyclonique de sud - sud-ouest expliquant ainsi le léger avantage du pays basque, et les hauteurs d'eau généralement médiocres. Sur les rivages méditerranéens, sauf en Roussillon, les flux soufflent de sud et ont une courbure cyclonique. Les côtes du Languedoc et du Var perpendiculaires à ces courants, sont les plus arrosées. La perturbation ne pénètre pas dans le goulot rhodanien, mais se déplace lentement vers l'est, expliquant l'anomalie négative du bas-Rhône. En outre, cette remontée chaude lèche seulement le littoral rendant ainsi compte de l'opposition pluviométrique entre les rivages et l'intérieur. Dans cet exemple, il est inutile de faire appel à des systèmes régionaux et locaux.

f - Les pluies du 6 octobre 1961

Les précipitations généralisées du 6 octobre 1961

constituent un second exemple, mais avec intervention des mécanismes locaux. Les précipitations, fortes sur l'ensemble des Midis, sont cependant plus élevées en Méditerranée. En Aquitaine, les pluies augmentent du nord au sud, 9 mm à Bordeaux et 19 mm à Biarritz, et diminuent dans les plaines intérieures, 5 mm environ à Toulouse. Dans le sud-est, à l'est sur la côte varoise et niçoise, les pluies sont abondantes, mais non remarquables. En Roussillon, 41 mm à Perpignan représentent déjà une très forte averse; enfin dans le bas-Rhône, et plus spécialement à l'est en Languedoc, les pluies sont très violentes, 70 mm à Montpellier.

En altitude, la situation est anticyclonique imparfaite. La pression est supérieure à la normale, mais un profond talweg s'infléchit du Groenland à l'Espagne. Les Midis sont situés sous la face orientale de cette vallée, et les flux d'altitude présentent donc une courbure cyclonique. Un noyau dépressionnaire plus froid se déplace de la Catalogne vers la Tunisie.

En surface, la situation est aussi méridienne. L'anticyclone des Açores est rejeté sur l'Atlantique central. A l'est, un couloir dépressionnaire s'insinue. La dépression d'Islande au nord, se prolonge par un talweg au sud sur la France méridionale. L'évolution est lente, comme dans toute situation méridienne, et le talweg se déplace vers l'est. Une perturbation de nord-ouest est associée à une dépression régionale installée sur le Roussillon. Elle se décale vers l'est en cours de journée. Les flux de sud soufflent dans cette perturbation et à l'avant d'une nouvelle perturbation qui atteint l'Aquitaine atlantique. Ce système de nord-ouest avec flux de sud, met en présence des masses d'air très différenciées; l'air tropical maritime, cinématique et très chaud, 22-23°, heurte l'air polaire maritime convectif, nettement plus froid, 12° environ.

Le fort gradient thermique, la situation d'altitude et de surface expliquent l'abondance des pluies. Le nord de l'Aquitaine recouvert par l'air froid est moins arrosé. La direction des flux rend compte partiellement

des contrastes pluviométriques dans le sud-ouest. Pour comprendre la répartition spatiale des hauteurs sur les rivages méditerranéens, il faut faire intervenir des mécanismes régionaux et même locaux. Les fortes pluies en Roussillon sont dues à la dépression régionale et à la perturbation associée, en phase avec la goutte froide d'altitude. Bien que le tracé de la côte soit parallèle au flux général, les averses sont très copieuses.

En Languedoc, interviennent des mécanismes locaux décrits par P. Marres (3). Une trombe prend naissance sur l'étang de Thau dans le cadre de la situation générale décrite. Elle se déplace très rapidement, accompagnée d'un vent violent qui provoque d'importantes destructions. Les facteurs géographiques sont tyranniques sur ce micro-système, comme le démontre l'étude précise de l'auteur. Pour notre propos, il est important de retenir la conjugaison de trois systèmes d'échelle différente dont les effets se cumulent, exemple typique de feed back cumulatif.

g - Les chutes du 1er août 1968

Le 1er août 1968 est un autre type de pluies régionales de la classe ~~111~~. Des averses médiocres sont observées sur le littoral aquitain; elles pénètrent légèrement dans l'intérieur, 3 mm à Agen, puis aucune onnée à Toulouse. Un maximum pluviométrique est centré sur le pays de Mont-de-Marsan.

En altitude, dominant les hautes pressions, mais à l'intérieur un profond talweg orienté nord-nord-est sud - sud-ouest atteint les latitudes marocaines; axé sur l'Atlantique, l'Europe est aussi située sous un flux cyclonique de sud-ouest. Ce flux difflue sur l'Aquitaine centrale et les régions méditerranéennes où s'observe en outre une crête secondaire.

(3) P. Marres, Une trombe en pays languedocien (110).

En surface, une barrière anticyclonique formée de noyaux successifs, s'étend sur l'Atlantique oriental. A l'est de ces cellules méridiennes, des dépressions locales stagnent de l'Espagne à la Hollande. Dans ces dépressions, des perturbations se déplacent très lentement vers le nord, car il s'agit d'un courant inverse. Un front froid installé sur la côte atlantique, se décale aussi très lentement vers l'intérieur. Derrière ce front froid, des flux de nord sont à l'origine des précipitations.

Malgré la stagnation des fronts et des perturbations, les précipitations sont très faibles car la diffluence en surface bloque partiellement les ascendances. D'autre part, la masse d'air pluvieuse, fraîche, contient peu de vapeur d'eau. Enfin, sur l'Aquitaine centrale un dôme régional légèrement anticyclonique explique la limitation spatiale des précipitations. Il est assez rare qu'une telle situation de blocage donne aussi peu de pluie, mais la remontée chaude dans les perturbations n'est pas très nette. D'autre part, la traîne n'est active que sur le littoral. Le maximum pluviométrique de Mont-de-Marsan a pour origine un centre dépressionnaire local fortement corrélé à l'évolution thermique; il se développe puis disparaît sur les cartes tri-horaires en suivant le rythme diurne des températures. Des mécanismes locaux modifient donc la structure des traînes en Aquitaine.

11.2.2 LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DE LA CLASSE DOUZE

a - Les pluies du 17 août 1968 (Fig 11.13)

Le 17 août 1968 est un premier exemple de la classe douze. Les précipitations commencent à tomber dans la nuit du 16 au 17 août, sur toute l'Aquitaine, le Roussillon et le Languedoc. Première anomalie, sur le

littoral les hauteurs recueillies sont très faibles; elles augmentent dans le pays toulousain, mais au-delà du seuil de Naurouze aucune station ne reçoit plus de 2 mm d'eau. Dans la journée du 17, l'onde pluviométrique se déplace vers l'est et atteint le comté de Nice. Des pluies importantes, 8 mm à Biarritz, sont relevées sur le piémont pyrénéen.

En altitude, la pression est supérieure à la normale sur l'ensemble des Midis, mais un talweg centré sur le méridien 0° atteint la Bretagne méridionale. Les isohypses témoignent donc d'un mouvement cyclonique sur les régions méridionales. Ce talweg se déplace très lentement vers l'est, tout en se creusant davantage.

En surface, l'anticyclone atlantique, décalé vers le sud-ouest, s'étire sur tout l'Atlantique et n'atteint l'Europe que sur la péninsule ibérique. Au nord, toute l'Europe est soumise à un régime dépressionnaire. La dépression islandaise est très creusée pour la saison, mais surtout, un second centre, moins vigoureux, est installé sur la mer du Nord et se prolonge vers le sud. Les Midis sont en position marginale, fait normal en été. Un courant perturbé d'ouest sud-ouest se déplace rapidement dans ce lit dépressionnaire. Il est très complexe; une perturbation méridionale se forme par ondulation à partir d'une perturbation plus septentrionale, et traverse d'ouest en est l'Aquitaine et le sud-est français. Cette bipartition, avec une perturbation secondaire sur les Midis, fait apparaître un front froid. Il se déplace vers le sud-est et sa trajectoire est différente de celle des perturbations. A l'avant du front froid, les flux pluvieux de sud-ouest tournent au sud sud-est au niveau du delta rhodanien.

La direction des flux est responsable des distributions spatiales des averses; ainsi, l'importance des pluies sur le pays basque est due aux flux de sud-ouest, et les deux autres maxima secondaires, du pays nîmois et

de la côte-d'Azur, correspondent à des retours de sud-est chauds et humides. Plus difficile à expliquer, est l'opposition entre le littoral atlantique et les pays toulousains. L'effet thermique ne peut pas être invoqué, les précipitations tombant en fin de nuit, et sans doute faut-il faire intervenir la trajectoire du front froid de nord-ouest qui coïncide l'air chaud entre le Massif Central et les Pyrénées. L'effet de trajectoire de la perturbation est nul, car autrement l'anomalie pluviométrique devrait être inverse, d'autant plus que le talweg d'altitude est centré sur l'Aquitaine océanique. Pour la dernière anomalie spatiale, celle du piémont pyrénéen, les pluies tombent pendant, mais aussi après le passage de la perturbation; ces pluies de traine, en retard, ont déjà été mentionnées par P. Pedelaborde (4).

b - Les chutes du 20 juin 1968

Le 20 juin 1968 est au autre type d'ouest très caractéristique d'été. Des précipitations faibles tombent dans toutes les stations d'Aquitaine; les écarts régionaux sont très médiocres, avec un très léger maximum dans les pays toulousains. Les Midis méditerranéens sont la seule province française, où aucune averse n'est recensée.

En altitude, la pression est supérieure à la normale sur l'ensemble des Midis, mais un talweg, avec des gouttes très froides, atteint l'extrémité de la Bretagne. Les isohyesses dessinent donc une courbure cyclonique sur la face orientale de cette vallée planétaire; très vite ils s'écartent, illustration d'une diffluence qui apparaît dès le niveau 850 mb, puis se renforce jusqu'à la tropopause.

En surface, un anticyclone, installé sur l'Atlantique central, envahit par une dorsale toute la Méditerranée.

(4) P. Pedelaborde, La circulation atmosphérique sur les Pyrénées françaises (62).

née occidentale. Les Midis méditerranéens, sauf l'extrémité orientale, sont donc en situation anticyclonique. Sur la face nord des hautes pressions, circule un courant perturbé d'ouest dans un couloir septentrional, de Terre-Neuve à la Scandinavie. Un front froid s'insinue jusqu'à l'Espagne, traverse l'Aquitaine d'ouest en est. Enfin, les flux aussi sont d'ouest. Ce type, où les trajectoires des perturbations, des fronts et des flux sont identiques est très rare. La masse d'air affectée par ces flux, convective normale est relativement peu chaude, 11° C.

La médiocrité des précipitations s'explique par la situation anticyclonique en surface, la température relativement fraîche de la masse d'air; la position excentrée de la perturbation, et la direction zonale des flux. Le léger regain des précipitations sur le pays toulousain, très limité dans l'espace, a pour cause une petite dépression relative peu creusée, distincte sur les cartes tri-horaires. Cette dépression est d'origine thermique, car les pluies tombent dans l'après-midi. Le système régional ajoute donc ses effets au système général.

c- Les pluies du 2 mars 1973 (Fig 11.14)

Les précipitations du 2 mars 1973 sont un exemple de situation-circulation de nord-ouest. Des averses éparses, toujours moins de 3 mm, sont relevées sur toute l'Aquitaine; aucune variabilité spatiale ne se dessine nettement.

En altitude, la situation est parfaitement anticyclonique; les pressions sont supérieures à la normale, l'isohypse 556 surmontent la France et les Pays-Bas. En outre, une crête protège les Midis aquitains; un talweg secondaire s'inscrit dans cette dorsale sur le proche Atlantique, mais n'affecte pas le sud-ouest. Cette crête se renforce en cours de journée.

En surface, l'anticyclone atlantique, centré sur le golfe de Gascogne, se prolonge en altitude. Au cours de la journée, il s'infléchit vers le sud, mais la situation anticyclonique persiste en Aquitaine. Au nord de cette cellule, circule un train de perturbations d'ouest sud-ouest, en relation avec les dépressions d'Islande et de la Baltique. Le front froid d'une perturbation ondulant sur l'Aquitaine, se déplace vers le sud-est. Par bipartition, bien illustrée par les cartes de variation de pression en vingt quatre heures, une nouvelle perturbation se développe sur ce front en Méditerranée sans donner une seule pluie. Les flux soufflent de nord-ouest derrière ce front froid.

Les précipitations sur l'Aquitaine ont donc pour cause le passage d'un front froid, associé à un talweg secondaire en surface. La faiblesse des pluies a pour origine la situation générale anticyclonique sur toute l'épaisseur de la troposphère et l'éloignement de l'Aquitaine par rapport au point triple. L'absence de pluie sur le littoral méditerranéen souligne l'effet tyrannique du relief; en Corse, des averses plus copieuses qu'en Aquitaine sont observées, car l'effet de foehn a disparu.

d - Les pluies du 2-3 août 1971

La situation orageuse sur l'Aquitaine centrale et septentrionale, dans la nuit du 2 au 3 août 1971, est un type par flux de sud. Des précipitations assez faibles sont recueillies en Aquitaine; nulles sur le piémont pyrénéen, elles augmentent vers le nord, 17 mm à Agen. Dans la journée, quelques pluies éparses, inférieures à 0,6 mm, sont observées dans quelques stations du Roussillon et du Languedoc occidental.

En altitude, un talweg étroit atteint le 45 ème parallèle à l'ouest de l'Aquitaine. Les Midis aquitains

sont installés sous la face orientale de ce talweg, et les isohypses présentent donc une courbure cyclonique. Les régions à l'est du Rhône, dominées par une crête, sont en position anticyclonique parfaite, mais une diffluence se dessine sur la France méditerranéenne.

En surface, un anticyclone est installé sur l'Atlantique central; orienté nord-ouest-sud-est, il se prolonge sur le détroit de Gibraltar. Au nord, du Labrador à la Bretagne, s'individualisent des dépressions dans lesquelles circulent des perturbations de nord-ouest. Sur la face orientale de la dépression, centrée sur l'Europe occidentale, remonte vers le nord-nord-est une perturbation. Le front froid de cette perturbation de sud-ouest traverse lentement d'ouest en est les Midis, puis remonte au nord, sur les Alpes. A l'avant de ce front, circule un flux de sud peu épais, et derrière un flux très subsident de nord-ouest.

Les précipitations correspondent aux méridiens de sud, d'où leurs variations spatiales sur l'Aquitaine, et la décroissance des averses du nord vers le piémont pyrénéen, situé en position d'abri. Ces pluies ne se propagent pas à l'est du Rhône, car le front froid est bloqué sur les Alpes, et en surface s'ajoute un anticyclone secondaire sur la Provence. Le maximum observé sur l'agenais, s'explique par la formation d'une véritable perturbation par ondulation d'un front occlus non représenté sur le BQE. Une fois encore, apparaît le rôle des dépressions et anticyclones secondaires. Dans les deux cas, ces centres régionaux additionnent leurs effets aux centres généraux.

e - Les chutes du 23 juin 1972

Les pluies du 23 juin 1972 sont un exemple de situation d'ouest, avec passage d'un front chaud. Des précipitations, inférieures à 1 mm, sont étroitement localisées sur le littoral septentrional de l'Aquitai-

ne, au nord de Cazaux; aucune aversé n'est enregistrée au sud du bassin d'Arcachon.

En altitude, les hautes pressions règnent, mais un talweg très creusé s'observe sur l'Ecosse; l'axe du talweg surmonte l'Aquitaine intérieure, et l'ensemble aquitain est donc soumis à des flux de nord-ouest, qui s'incurvent ensuite, et divergent sur les régions méditerranéennes. La situation est donc imparfaitement anticyclonique, au moins au début de la nuit, car en cours de journée, le talweg se décale vers l'est, et le littoral atlantique est alors surmonté par des flux à courbure anticyclonique.

En surface, l'anticyclone atlantique se prolonge par une dorsale sur toute la France; cette dorsale se renforce et un noyau anticyclonique secondaire s'installe dans le golfe de Gascogne. Sur la face nord de cette masse anticyclonique, se déplacent vers le nord-est des perturbations de l'étage polaire. Un front froid entraîné vers le sud-est en cours de journée, atteint les rivages méditerranéens en fin de soirée sans donner la moindre pluie. Le front chaud de la perturbation suivante se déplace lentement vers l'est, puis atteint les rivages atlantiques dans l'après-midi. L'air chaud est constitué par une masse d'air polaire maritime de retour du type convective normale fraîche. Les sondages effectués à Bordeaux montrent que cette masse d'air évolue; en effet, si les deux courbes sont pratiquement jointes témoignant ainsi du phénomène de saturation, on observe malgré tout une très nette inversion, qui bloque partiellement les ascendances.

Les pluies sont localisées sur le littoral, car au sud et à l'est le renforcement anticyclonique est défavorable. D'autre part, la nature, la température, et surtout la structure de la masse d'air rend compte de l'insignifiance des pluies. En outre, une fois encore, intervient l'effet littoral et un centre d'action secon-

daire, anticyclonique dans ce cas précis. Ce noyau de haute pression parvient à bloquer les ascendances génératrices de pluies.

f - Les précipitations du 9 octobre 1971

Les pluies du 9 octobre 1971, recueillies en Roussillon et sur les marges sud du Languedoc, constituent un exemple original d'averses par flux d'ouest sur ces espaces. Les précipitations copieuses à Perpignan, 11 mm, s'affaiblissent à l'ouest, Carcassonne ne recevant que 2 mm, et à l'est; ce maximum pluviométrique est donc très limité dans l'espace.

En altitude, à grande échelle, la situation est nettement anticyclonique, l'isohype 556 atteignant les latitudes de l'Ecosse. Une dépression secondaire sur l'Espagne est liée à une goutte froide; elle se comble au niveau 500 mb, mais la goutte froide persiste, et recouvre en fin de soirée la Catalogne.

En surface, un anticyclone peu prononcé, s'évase sur l'Europe occidentale. Sur sa face nord, circulent des perturbations d'ouest sud-ouest, dans un couloir dépressionnaire, du Canada à la Baltique. Des flux d'ouest soufflent sur l'Aquitaine et les régions du Roussillon-Languedoc. La cellule anticyclonique n'est pas parfaite, et un léger talweg secondaire s'insinue au niveau du Roussillon. Un front quasi stationnaire d'orientation nord-sud sinue dans cette vallée, et se déplace très lentement vers le sud-ouest.

Les précipitations ont pour origine la concordance entre la situation de surface et l'arrivée de la goutte froide en altitude; pour ce type orageux, l'effet de la goutte froide est indéniable, les cartes tri-horaires montrant que l'activité du front de surface dépend essentiellement de la situation en altitude. D'autre part, la direction des flux, dont nous avons toujours souligné

le rôle dans la distribution spatiale des averses n'intervient nullement; le Roussillon, pourtant abrité par rapport à l'Aquitaine par flux d'ouest, est cependant au coeur de l'onde pluvieuse.

g - Les chutes du 8 août 1971

Le 8 août 1971 est un type de nord donnant des précipitations sur le bas-Rhône. Dans la nuit du 7 au 8 août, quelques averses éparses et faibles, moins de 5 mm, sont recueillies dans le delta rhodanien; cette zone pluvieuse est un prolongement de celle qui prend en écharpe les Préalpes du nord.

En altitude, les hautes pressions règnent, mais un talweg secondaire s'étire jusqu'au détroit de Gibraltar, où stagne une goutte froide. La Provence est surmontée par un flux de sud-ouest à courbure cyclonique, bien qu'une légère crête apparaisse dans ce flux généralisé; la situation est donc imparfaitement anticyclonique.

En surface, l'anticyclone atlantique, quasi stationnaire au large des Açores, est prolongé par une dorsale sur toute l'Europe occidentale et méditerranéenne. Sur sa face nord, circule des courants perturbés, hors des Midis. Un front d'une perturbation de sud-ouest ondule de la péninsule ibérique à la plaine germano-polonaise. Les flux sont de nord, dirigés par la zone anticyclonique.

Les cartes d'analyse tri-horaires font apparaître la formation d'une perturbation formée d'air plus chaud résiduel coincée contre les Préalpes; elle donne des pluies limitées sur le nord des basses terres rhodaniennes, car il s'agit d'une perturbation locale. Leur médiocrité s'explique par la conjonction de différents facteurs : les flux glissent le long des reliefs et ne sont pas bloqués, comme plus au nord; la forme du delta rhodanien favorise ainsi la subsidence. D'autre part,

les plaines du bas-Rhône sont installées sur la marge méridionale de cette perturbation régionale. Ajoutons enfin, l'effet anticyclonique de surface, la pression étant supérieure à 1 025 mb. La situation régionale parvient, une fois encore, à modifier profondément la situation générale anticyclonique.

CONCLUSIONS

L'analyse descriptive avec des documents annexes, notamment les cartes régionales et les sondages, présente l'avantage de confirmer l'adéquation de la théorie des systèmes ouverts. Les systèmes zonaux et régionaux additionnent leurs effets dans de très nombreux exemples; la boucle d'autorégulation est donc très souvent positive. Les rétroactions de sens contraire sont surtout négatives, un anticyclone régional suffisant à provoquer la sécheresse quand règne une situation-circulation zonale favorable aux précipitations. Parfois, notamment par flux de nord, la sécheresse a pour cause le simple effet orographique, vérifiant ainsi la loi "d'équifinalité" caractéristique des systèmes ouverts.

Les systèmes régionaux, plus encore locaux, ont une double action, variable suivant l'étendue spatiale des averses. Dans presque tous les exemples, ils expliquent les variations spatiales des précipitations; cette règle se comprend facilement car ils sont étroitement liés aux flux et aux formes de relief, les deux autres grands facteurs de variabilité spatiale. Quand les précipitations tombent sur l'ensemble des Midis, les systèmes régionaux et locaux ont souvent un rôle secondaire, mais à l'échelle de chaque domaine, et plus encore des régions pluviométriques leur effet s'amplifie. L'éclatement climatique du Midi méditerranéen, où ces centres locaux sont très fréquents, et où les circulations zonales sont au contraire peu accusées, est ainsi bien expliqué.

C H A P I T R E D O U Z E

SITUATIONS-CIRCULATIONS ET CARACTERES DE LA
PLUVIOSITE

L'analyse objective et descriptive des situations-circulations pluvieuses a mis en relief les structures des différents complexes pluviométriques; l'étape suivante est le classement des attributs descriptifs de la pluviosité en fonction des douze classes. Trois thèmes principaux sont examinés. Premièrement, l'étendue spatiale des averses suivant chaque classe, mérite une réponse car l'espace, support dans cette thèse, est au centre de la reflexion géographique; d'autre part, il est souhaitable théoriquement et pratiquement d'évaluer l'étendue probable de chaque classe.

Dans une seconde partie, les douze classes et les hauteurs journalières sont confrontées, à l'échelle annuelle et saisonnière. Les rapports entre les mécanismes pluviométriques et les hauteurs, puis les intensités constituent une réponse aux problèmes soulevés dans l'analyse structurelle des hauteurs et des intensités (1ère et 2ème partie). Les durées sont appréhendées uniquement par les séquences.

Pour résoudre toutes ces questions, les tris croisés présentés dans les enquêtes sociologiques sont les techniques les plus simples; le calcul de pourcentage donne en outre des résultats relatifs, donc comparables.

12-1 L'ETENDUE SPATIALE DES AVERSES

Les étalons forts issus de la classification donnée par les nuées dynamiques apportent une première réponse globale. Quatre types s'observent; la classe 11 est l'unique famille de situation-circulation provoquant des averses généralisées sur les Midis; des pluies sur l'en-

semble méridional dues à une situation unique sont donc rares. Plus fréquentes sont les classes qui donnent des ondées sur un seul domaine, aquitain ou méditerranéen, les trois classes 7, 5, et 12. Aux étalons forts des classes 2, 3, 9 et 6 sont associées seulement des averses régionales ou même locales. Les classes 1, 10 et 4 constituent un dernier ensemble mixte, dont l'étendue spatiale varie, régionale ou à l'échelle d'un Midi.

Le regroupement des classes suivant l'étendue spatiale des averses, se calque imparfaitement sur les quatre types de situations-circulations; cependant, le groupe IV composé des classes 11 et 12 donne toujours des averses étendues à l'échelle au moins des domaines; d'autre part, au groupe un, comprenant les trois classes de situations non norvégiennes et la classe 4, correspondent des averses essentiellement régionales et locales. La situation-circulation d'altitude, origine essentielle de ces pluies, n'est pas limitée spatialement, mais la situation-circulation de surface défavorable bloque les ascendances généralisées. Cette analyse introductive des étalons forts est fondée seulement sur huit exemples typiques pour chaque classe.

12-1-1 LE MODELE ANNUEL

L'analyse détaillée suivante utilise non seulement les huit étalons forts de chaque classe, mais toutes les situations-circulations. Les douze classes provoquent globalement des précipitations de faible étendue spatiale, régionales et locales dans 64 % des cas. Inversement, moins de 5 % des situations-circulations pluvieuses donnent des pluies sur l'ensemble des Midis; les mécanismes pluviométriques sur ces marges tempérées sont donc spatialement limités. Certes, plus de 5 % d'averses généralisées sont recensées, mais elles sont causées par des situations-circulations différentes;

ainsi le 13 février 1973, les pluies tombées sur les six stations tests correspondent soit à la classe 8 (Marignane et Nice) soit à la classe 11 (Biarritz, Toulouse et Perpignan); le 23 mars 1970 est un second exemple de pluies généralisées; elles sont dues à trois situations-circulations différentes. Dans la plupart des exemples, les différences ne sont pas radicales, et les situations-circulations appartiennent à un seul des quatre types définis au chapitre neuf. Un tiers des chutes enfin, tombent à l'échelle d'un domaine.

Les distributions fréquentielles des trois types d'étendues spatiales pluvieuses varient très fortement suivant les classes. Les classes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10 et 12 donnent essentiellement des ondées régionales ou locales, toujours plus de 50 %. L'observation relative aux situations-circulations non norvégiennes, faite avec les seuls étalons forts, est vérifiée : elles ne sont jamais généralisées, sauf de très rares exceptions, moins de 1 %; plus de 60 % de ces situations-circulations donnent des précipitations régionales et locales. La classe 2 représente un record, plus de 90 % des averses de ce type affectent une seule région. Il est vrai que ces situations-circulations sont caractérisées par des hautes pressions en altitude et l'absence de perturbation en surface : les pluies sont accidentelles et peu étendues.

Les averses provoquées par les situations-circulations des classes 6 et 7 ont une étendue spatiale plus vaste; plus de 50 % des chutes s'étendent sur un des deux Midis. Elles donnent des pluies surtout en Aquitaine; les systèmes pluvieux généralisés sur les littoraux méditerranéens, très rares, correspondent le plus souvent à des pluies tombant sur l'ensemble des Midis. Il existe donc des situations-circulations propres à l'Aquitaine, mais elles sont exceptionnelles en Méditerranée, à cette échelle. Cette caractéristique due au mor-

cellement des situations isobariques, à leur taille réduite, explique partiellement la division plus fine des espaces pluviométriques méditerranéens.

Les classes 11 et 5, donnent des pluies généralisées; certes, d'autres situations-circulations aboutissent à ce même résultat, mais elles sont accidentelles, toujours moins de 5 %. L'originalité de la classe 11, observée sur les étalons forts, est donc vérifiée. La classe 5 appartient au même type, plus de 10 % des situations-circulations donnant des chutes généralisées, mais en valeur absolue cette classe n'est nullement caractéristique, et elle se rattache plutôt à l'ensemble des classes provoquant des pluies sur un domaine, aquitain ou méditerranéen. Les pluies généralisées, associées à la classe 8, plus nombreuses en valeur absolue, ont une fréquence relative inférieure à 5 %.

12-1-2 LES REPARTITIONS SAISONNIERES

Les trois types d'étendues spatiales varient suivant les saisons. De mai à la fin août, les pluies régionales très nombreuses, plus de 70 %, sont plus fréquentes qu'en cours d'année. Inversement les deux autres classes, pluies généralisées et pluies sur un des deux domaines, sont moins fréquentes; les pluies généralisées deviennent véritablement exceptionnelles, jamais plus de quatre ou cinq par été en moyenne. De janvier à avril, les pluies sur les Midis, plus nombreuses, sont particulièrement fréquentes, plus de 40 % en janvier-février. Cet accroissement est cependant différentiel; en hiver, il est obtenu au profit des ondées régionales, relativement moins nombreuses, mais les fréquences relatives des chutes généralisées n'évoluent pas. En mars-avril, le renforcement de la classe intermédiaire a pour origine le retrait des précipitations généralisées qui deviennent exceptionnelles comme en été.

La saison des pluies maxima

Les quatre mois pluvieux, de septembre à décembre, sont caractérisés par de faibles variations des pourcentages par rapport à l'année; les pluies généralisées dépassent le seuil 5 %, mais l'écart entre les pourcentages est très faible. En valeur absolue, douze-quinze chutes généralisées sont relevées en moyenne. L'écart entre les saisons pluvieuses de printemps-début été et d'automne est donc net; les pluies généralisées sont deux fois plus nombreuses pendant le maximum d'automne. De septembre à décembre, les situations-circulations non norvégiennes provoquent des pluies essentiellement régionales et locales, plus de 80 % des chutes de ces classes. Les pluies provoquées par ces situations-circulations, exceptionnelles à l'échelle des domaines, ne sont jamais recueillies sur l'ensemble des Midis. A ce premier type s'ajoute aussi la classe 9 qui a la même évolution.

Un second groupe, les classes 4, 5, 6, 8 et 10, est caractérisé par des fréquences stables par rapport à celles de l'année; sauf la classe 5, où d'ailleurs quelques variations sont observées, elles donnent toutes des pluies régionales, un pourcentage assez élevé de précipitations à l'échelle des domaines, mais pratiquement jamais de chutes généralisées. Dans la classe 5, le renforcement des pluies sur un des deux Midis est net.

Le dernier ensemble, les classes 7, 11 et 12, est marqué par la réduction relative des pluies de faible étendue spatiale. Cette baisse est compensée par l'accroissement des pluies à l'échelle des domaines, notamment pour la classe 7, plus de 60 % des averses. Au cours de cette saison pluvieuse, l'originalité de la classe 11 est évidente : les pluies généralisées représentent à peine moins de 50 % des chutes; ces mêmes

averses, rapportées à l'ensemble annuel des pluies généralisées, représentent plus du tiers du total. Les pluies généralisées, provoquées par les situations-circulations de la classe 11, tombent donc surtout pendant la grande saison pluvieuse d'automne-hiver.

Le bimestre relativement sec d'hiver

En janvier-février, deux groupes seulement se distinguent. Le nombre insuffisant de relevé de la classe 9 empêche toute analyse; en outre, dans le premier sous-ensemble la classe 1 s'oppose aux classes non norvégiennes 2 et 3, les pluies régionales et locales devenant moins fréquentes. Seules les classes 2 et 3 sont caractérisées par un accroissement des averses peu étendues. Toutes les autres classes forment un seul ensemble où les pluies localisées et régionales sont moins fréquentes. L'augmentation des deux autres types spatiaux varie suivant les classes; ainsi les précipitations généralisées, toujours rares en valeur absolue, se renforcent en valeur relative dans les classes 5 et 8, trait original par rapport à l'automne. Dans la classe 11, ces mêmes averses généralisées, toujours relativement fréquentes, deviennent plus rares, deux ou trois par an en moyenne.

La saison sèche d'été

En été de mai à juillet, les variations fréquentielles importantes distinguent nettement les situations-circulations non norvégiennes; les averses généralisées sont toujours accidentelles, mais les précipitations sur un domaine deviennent plus fréquentes, et inversement les pluies régionales très nombreuses en valeur absolue, sont moins fréquentes. Ces variations caractérisent surtout juillet et août, mois les plus chauds; la convection thermique, insuffisante comme

tous les autres facteurs pour déterminer des averses, devient très active et elle seule explique l'extension spatiale de ces pluies.

Un second groupe, la seule classe 10, a en été des fréquences relatives stables pour les trois échelles spatiales. La classe 2 est proche de ce groupe; la décroissance des pluies régionales et locales, commune aux autres situations-situations non norvégiennes est moins nette, car en altitude les situations anticycloniques parfaites bloquent les ascendances généralisées.

La plupart des classes constituent un troisième ensemble où les précipitations régionales et locales augmentent, tandis que les pluies généralisées deviennent exceptionnelles; les chutes à l'échelle des domaines, à peine moins fréquentes en valeur absolue, sont relativement stables par rapport à l'année. Deux facteurs contraires s'opposent en été, la convection thermique et l'abri aérologique en altitude; le premier, qui agit sur des espaces réduits, entraîne la prédominance des pluies régionales et locales.

Les nuances entre la fin du printemps et le coeur de l'été apparaissent mal; l'augmentation des averses sur un des domaines, provoquée par des situations-circulations non norvégiennes, débute dès mai. La différence majeure concerne les classes 10 et 2; les pluies généralisées et à l'échelle d'un domaine, provoquées par les situations-circulations de la classe 10, sont relativement plus fréquentes.

La saison pluvieuse de printemps

En mars et avril, mois de transition, se distinguent aussi trois ensembles, mais regroupant des classes différentes. Le groupe des situations-circulations non norvégiennes éclate; les fréquences relatives à la classe 1 sont stationnaires pour les trois modèles spa-

tiaux, tandis que la part des pluies régionales et locales augmente pour la classe 2, et diminue pour la classe 3. La faiblesse des valeurs absolues explique peut-être cet éclatement. Outre la classe 1, la classe 7 est aussi caractérisée par des fréquences stables, avec toujours la prépondérance des averses sur un des deux Midis. La classe douze constitue le troisième élément de ce groupe.

Un second ensemble, où les averses limitées à une région augmentent, comprend, outre la classe 2, les classes 11 et 8; pour la classe 11, les averses généralisées sont encore très fréquentes, mais les pluies sur un des deux domaines deviennent exceptionnelles.

Le dernier groupe, où les situations-circulations pluvieuses régionales et locales sont moins fréquentes, inclut les classes 3, 9 et 10; les averses à l'échelle d'un domaine augmentent, mais les pluies généralisées restent accidentelles.

Conclusion

Ainsi à l'échelle de l'année ou des mois, rare sont les situations-circulations qui donnent des précipitations sur l'ensemble des deux Midis. En outre, si des classes provoquent des chutes sur toute l'Aquitaine, il n'y a pas véritablement d'équivalent en Méditerranée. Cette absence explique partiellement, avec le relief et les mécanismes régionaux, le morcellement pluviométrique en Méditerranée.

Les situations-circulations pluvieuses généralisées, assez rares, sauf en automne, sont exceptionnelles en été; seules les classes 1 et 3 donnent des pluies plus étendues en superficie. C'est pendant la saison pluvieuse d'automne que les chutes atteignent une superficie maximum, notamment celles des classes 7 et 11. Une relation, non rigoureusement linéaire, unit donc l'étendue spatiale des averses des douze classes et les hauteurs saisonnières.

12-2 ANALYSE FREQUENTIELLE DES SITUATIONS-CIRCULATIONS PLUVIEUSES

12-2-1 LES FREQUENCES ANNUELLES

Le premier type ne constitue jamais plus de 20 % des situations-circulations, sauf à Toulouse, 21 %. D'autre part, les variations interrégionales sont aussi fortes en Aquitaine qu'en Méditerranée; peu fréquentes à Bordeaux, ces classes sont relativement moins rares au sud des Landes, et surtout dans l'intérieur. En Méditerranée, les averses correspondantes à ces classes sont plus fréquentes aux deux extrémités, orientales et occidentales, 16 % à Nice et 18 % à Perpignan; dans le bas-Rhône, ces situations-circulations sont relativement plus rares. Les hauteurs d'eau associées sont faibles, les fréquences variant entre 6 % à Marignane et 20 % à Perpignan; ces pourcentages confirment les idées émises dans le chapitre huit : les situations-circulations non norvégiennes donnent des pluies médiocres.

L'analyse précise des classes montre l'importance de la seule classe 2 en Méditerranée, où elle représente plus de 50 % des situations-circulations non norvégiennes, sauf à Perpignan; en Roussillon et en Aquitaine, la supériorité de cette classe est moins visible. Cependant, ces situations-circulations donnent des hauteurs très faibles, et surtout en Aquitaine, la classe 1 **est** plus efficace, 7 % à Biarritz. La classe 4, dont la structure est identique aux situations-circulations non norvégiennes par les variables intégrées, représente une exception dans les Midis, sauf en Roussillon et bas-Rhône. En Roussillon, ces averses rares mais très copieuses donnent plus de 10 % des hauteurs annuelles, contre toujours moins de 5 % dans les autres stations; ces pluies sont en outre durables, expliquant en partie l'originalité du Roussillon.

Le deuxième type, les classes 5 et 6, est caracté-
risé par des effectifs et des fréquences faibles. Ces
 deux types de situations-circulations pluvieuses sont
 exceptionnelles; dans aucune station les deux fréquen-
 ces additionnées n'atteignent le seuil 7 %. Les apports
 d'eau correspondants sont aussi très médiocres. Les ra-
 res nuances concernent les effectifs bruts; ces situa-
 tions-circulations sont deux fois plus nombreuses en
 Aquitaine.

Le type III, contrairement au précédent, a un
poids relatif très fort, plus de 50 % des chutes en
Aquitaine, et à peine moins en Méditerranée. En outre,
 les averses copieuses donnent près de 50 % des hau-
 teurs dans toutes les stations, sauf à Perpignan, 32 %
 seulement. Cependant, ces fréquences globales reflé-
 tent mal les fortes variations internes entre les dif-
 férentes classes.

La classe 7 occupe le premier rang dans les trois
 stations du sud-ouest, toujours plus de 20 %; les hau-
 teurs correspondantes, pas spécialement élevées, repré-
 sentent 20 % et plus sur le littoral, et un peu moins
 en Aquitaine centrale. Les averses provoquées par cette
 classe, encore nombreuses en Roussillon, 16 % à Perpi-
 gnan, donnent des hauteurs très médiocres, moins de
 5 % dans tous les postes méditerranéens. Les situations-
 circulations pluvieuses de la classe 7, débordent donc
 d'Aquitaine en Roussillon, mais leur effet s'atténue
 brutalement. Plus à l'est, ces situations se raréfient,
 8 % à Marignane et moins de 5 % à Nice où elles devien-
 nent exceptionnelles; les hauteurs associées, très fai-
 bles, sont insignifiantes. Cette classe 7, la plus dis-
criminante, oppose donc nettement les deux domaines.

Les fréquences représentatives de la classe 8 ont
 une répartition spatiale inverse, mais les écarts sont
 plus faibles, 13 % à Biarritz et Toulouse contre 25 %
 à Marignane. En outre, dans toutes les stations

les hauteurs d'eau correspondantes sont fortes, plus de 25 % dans le bas-Rhône, le comté de Nice, mais aussi sur la côte d'Argent. En Aquitaine intérieure et en Roussillon, ces pluies encore importantes fournissent cependant moins de 20 % des totaux annuels, contre un tiers à Nice.

La classe 9 n'est pratiquement pas représentée; les valeurs absolues, trop faibles, interdisent de formuler des conclusions définitives sur les fréquences; seule originalité, ces situations-circulations sont très limitées spatialement; elles provoquent des averses uniquement sur le littoral atlantique, dans les plaines intérieures et en Roussillon; elles constituent des accidents, par leur rareté, car leur intensité n'est pas caractéristique.

Les situations-circulations de la classe 10 sont plus nombreuses en Aquitaine, notamment sur le littoral atlantique, mais leur fréquence relative, 13 % dans les trois stations du sud-ouest, est inférieure à celle des postes méditerranéens. Dans le comté de Nice, elles provoquent 20 % des chutes. Les apports ne sont pas très forts, sauf en toulousain où le pourcentage relatif aux hauteurs dépasse celui du nombre d'averses.

Le type IV comprend les deux classes 11 et 12. Les situations-circulations de la classe 11, au 5^{ème} rang seulement en Aquitaine, par leur nombre, sont les plus fréquentes en Méditerranée, malgré des valeurs absolues très voisines. L'augmentation des fréquences relatives est surtout nette à l'est du Languedoc. D'autre part, ces situations-circulations, très souvent généralisées, donnent des hauteurs d'eau variables, 15 % à Bordeaux et 41 % à Marignane, mais toujours relativement élevées par rapport à leur nombre. En Aquitaine, aucune variation régionale n'est caractéristique, tandis qu'en Méditerranée s'opposent rivages occidentaux et rivages orientaux.

TAB. 12.1 FREQUENCES ANNUELLES DES TYPES DE
SITUATIONS-CIRCULATIONS ET DES AP-
PORTS CORRESPONDANTS

Classes	Bordeaux		Biarritz		Toulouse		Perpignan		Marignane		Nice	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	5	5	6	7	6	5	5	3	5	3	4	2
2	5	2	8	3	7	5	7	4	7	3	8	2
3	6	4	6	6	8	5	6	3	4	3	6	4
4	1	1	1	2	2	6	3	17	3	2	2	1
5	2	2	2	3	2	2	2	2	3	4	2	1
6	1	2	1	0	0	0	1	2	1	0	2	1
7	24	21	23	20	25	17	16	4	8	2	2	1
8	17	24	13	16	13	14	15	18	25	27	22	32
9	1	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0
10	13	11	13	12	13	16	16	9	16	14	20	15
11	10	15	9	17	10	12	15	22	23	1	24	38
12	12	13	14	15	11	18	12	6	9	6	8	7

Légende :

- 1 fréquence des situations-circulations
- 2 pourcentage des apports
- 1, 2, 3..... 12 numéro des classes.

En Aquitaine, les fréquences relatives de la classe 12 présentent les mêmes caractères; elles sont comprises entre 10 et 15 %, avec des hauteurs correspondantes élevées. En Méditerranée, ces fréquences décroissent d'ouest en est, moins de 10 % à Nice, et les hauteurs sont très médiocres, 6 % à Marignane et 7 % à Nice contre 18 % à Toulouse.

Conclusion

Les différences entre les deux domaines ont pour origine principale les variations des classes 7, 11, 8 et 12. Les classes 11 et 8 sont relativement mieux représentées en Méditerranée, tandis que les situations-circulations du type 7 et 12 sont plus nombreuses en Aquitaine. Ces résultats ne sont pas très surprenants; les classes 11 et 8 correspondent essentiellement à des situations-circulations où dominent les trajectoires de sud. La classe 7 représente au contraire les situations-circulations où les flux en altitude et surface, et les fronts ont des trajectoires de nord; elles donnent des pluies surtout en Aquitaine, ouverte à ces influences, tandis que la Méditerranée est en position d'abri géographique par rapport à ces flux humides septentrionaux.

12-2-2 LES FREQUENCES SAISONNIERES

- Automne-hiver (septembre-décembre).

Pendant la saison pluvieuse d'automne-hiver, s'observent quatre types d'évolution des fréquences. Les classes 5, 6 et 9, relativement constantes, ne sont pas à l'origine de l'augmentation des précipitations. Les situations-circulations de la classe 8, très nombreuses en valeur absolue, sont relativement moins fréquentes; ce caractère commun à toutes les stations s'amplifie d'ouest en est, 7 % seulement des chutes à Nice contre 22 % pour l'ensemble de l'année. Cependant, les hauteurs

fournies demeurent élevées, 20 % à Nice. Les situations-circulations d'ouest se raréfient, mais la situation parfaitement dépressionnaire en altitude, et les conditions thermiques donnent encore des pluies copieuses dans les stations littorales.

Les classes 11 et 12 et la classe 4, présentent des anomalies positives : leur fréquence augmente. Les pourcentages de la classe 12 demeurent sensiblement égaux en Méditerranée, où le renforcement de ces chutes n'est pas éclatant; en Aquitaine, les écarts plus importants, s'accroissent du littoral vers l'intérieur, avec un maximum à Toulouse, plus du tiers des hauteurs. En Roussillon, les fréquences sont pratiquement stables; donc les situations-circulations de la classe 12 ne mordent pas sur cette région en contact immédiat avec l'Aquitaine intérieure. Les fréquences représentatives de la classe 4 ont sensiblement la même évolution, notamment un renforcement à peine perceptible sinon inexistant dans les stations méditerranéennes. Cependant, en Roussillon comme dans l'Aquitaine intérieure, le renforcement de cette classe est maximum; ainsi, plus de 20 % des hauteurs d'eau sont données par ces situations-circulations à Perpignan.

La classe 11 présente un dernier type d'évolution; les fréquences sont plus élevées dans l'ensemble des stations, mais l'écart entre pourcentage annuel et saisonnier varie; pratiquement stable pour le nombre de chutes, il s'accroît d'ouest en est pour les hauteurs d'eau; à Marignane et Nice, plus de 50 % des modules sont provoqués par ces averses, contre 17 % à Bordeaux et Biarritz. Les situations-circulations méridiennes de sud, flux de sud en altitude et de sud à est en surface à l'avant d'un front froid, sont nettement les plus efficaces, en automne-hiver, sur les rivages méditerranéens, mais aussi en Aquitaine.

Les autres classes, 7, 1, 2, 3 et 10 ont des évo-

lutions différentes suivant les stations. Les écarts, très faibles, pour les situations-circulations non norvégiennes 2 et 3, n'affectent pas véritablement le régime des pluies d'automne-hiver. Plus important, le renforcement des averses de la classe 1 en Aquitaine centrale et en Roussillon est spatialement limité, les pourcentages demeurent stables et faibles ailleurs.

Les précipitations de la classe 7 sont à peine moins fréquentes en Aquitaine et Roussillon, mais les hauteurs correspondantes sont très ~~amputées~~ : 13 % contre 21 % à Bordeaux. A l'est du Roussillon, ces situations-circulations où prédominent les trajectoires de nord se renforcent, bien que toujours très faibles en valeur absolue; l'abri géographique s'interpose et seule les coulées importantes provoquent des averses, en soulevant l'air chaud, ou par poussées surplombantes. Malgré leur augmentation relative, les hauteurs d'eau sont très faibles, moins de 5 % des modules.

Les fréquences des situations-circulations de la classe 10, inchangées aux deux extrémités orientales et occidentales des Midis, sont moins élevées en Aquitaine centrale et en Roussillon. Cette anomalie, caractéristique d'octobre à Toulouse, est moins localisée dans le temps en Roussillon; le minimum pluviométrique d'octobre en toulousain et dans le seuil de Naurouze est imputable, au moins partiellement, au recul relatif de ces situations-circulations.

Conclusion

Le renforcement des pluies en septembre-décembre a pour cause essentielle, sinon unique, le renforcement des situations-circulations méridiennes de sud, souvent associées au passage d'un front froid sur les rivages méditerranéens. L'unité du domaine méditerranéen en automne-hiver apparaît donc clairement; les mécanismes régionaux et locaux sont à l'origine des variations

spatiales, car cette classe 11 donne souvent des pluies généralisées.

En Aquitaine, les situations-circulations des classes 4 et 12 contribuent aussi à l'augmentation de la pluviosité. Aux mécanismes classiques méridiens de sud, s'ajoutent d'autres causes, notamment des flux d'ouest à nord-ouest. Les classes 1 et 10 ont des évolutions inverses sur le littoral et dans l'intérieur; les situations-circulations non norvégiennes, et des flux de sud introduisent donc une variabilité spatiale importante.

- La sécheresse relative d'hiver (janvier-février)

En janvier-février, les deux classes 9 et 4, aux effectifs faibles, ne présentent aucune caractéristique par rapport à l'année; seule nuance, la médiocrité des averses sur les rivages méditerranéens qu'apportent les situations-circulations de la classe 4.

Les classes 5 et 8 sont plus fréquentes; l'écart est particulièrement marqué pour la classe 8 qui occupe le premier rang; elle donne plus de 30 % des hauteurs en Aquitaine, et plus de 50 % en Méditerranée où son rôle est tyrannique, sauf en Roussillon. En janvier-février, comme pour les autres mois, ces situations-circulations très dépressionnaires, mais où dominent les trajectoires d'ouest sont peu actives sur ces basses terres abritées des flux humides d'ouest par un arc montagneux. Cette originalité, traduite par des apports médiocres, inférieurs à 20 %, s'observe aussi pour la classe 5. Les situations-circulations ne sont pas plus fréquentes, et les hauteurs demeurent stables.

Les classes 1, 2, et 11, moins fréquentes, ont une évolution inverse à celle décrite en juillet-août. Les situations-circulations non norvégiennes sont plus rares, car les bilans énergétiques sont défavorables : le continent refroidi bloque les systèmes convectifs. Le

recul est surtout marqué pour la classe 1, les situations-circulations devenant accidentelles, particulièrement en Aquitaine centrale. D'autre part, si la baisse des fréquences est généralisée pour les chutes de la classe 2, les hauteurs associées sont souvent identiques, spécialement sur le littoral atlantique et dans le comté de Nice.

La classe 11 est caractérisée par une baisse très brutale et générale des fréquences, moins de 15 %, et parfois même de 10 % en Aquitaine. Les trajectoires de sud, sont rares en cette saison quand les effets polaires deviennent prépondérants comme le montraient déjà les analyses séparatives; le retrait est donc brutal. Cependant, ces situations-circulations très actives donnent des hauteurs non négligeables, notamment à l'est du Rhône, plus de 15 % à Marignane et Nice.

Les classes à évolution mixte sont les plus nombreuses. Les classes 7 et 10 ont des fréquences relatives supérieures en Aquitaine, mais plus faibles en Méditerranée. Cette évolution inverse est surtout nette pour les situations-circulations de la classe 7, 30 % contre 25 % à Toulouse, où l'augmentation des hauteurs est encore plus marquée. Cette originalité de l'Aquitaine intérieure déborde sur le Roussillon, puis s'efface en Languedoc. A l'est du Rhône, ces situations-circulations caractérisées par des trajectoires de nord, deviennent exceptionnelles, les masses montagneuses créant un abri protecteur efficace. Pour la classe 10, toulousain et Roussillon se ressemblent; le fait important, le recul en Méditerranée, est plus net que l'augmentation à peine perceptible en Aquitaine.

Les trois autres classes mixtes sont au contraire mieux représentées en Méditerranée, et stagnantes ou moins fréquentes en Aquitaine. Cette évolution est à peine perceptible pour la classe 3, excepté l'accroissement en Méditerranée qui a pour cause la formation de

situation parfaitement dépressionnaire en altitude. D'autre part, la classe 12 fait éclater l'unité des domaines; en Aquitaine, son recul est surtout net dans l'intérieur, tandis qu'en Méditerranée sa progression est limitée à la Provence orientale. La classe 6, la plus caractéristique, a des fréquences nettement plus fortes dans les postes méditerranéens, où elle dépasse le seuil 5 %.

Conclusion

A la fin de l'hiver, la sécheresse relative en Méditerranée a pour cause l'abri géographique qui modifie ou mieux encore arrête les systèmes pluviométriques septentrionaux, qu'ils prennent des composantes de nord ou d'ouest. Le refroidissement continental, gêne les mécanismes, spécialement les systèmes non norvégiens. En Aquitaine, ce dernier effet intervient aussi, mais l'activité des systèmes septentrionaux n'est pas troublée par le relief, et la baisse de la pluviosité est donc moindre. D'autre part, les précipitations, plus médiocres, sont moins souvent généralisées, comme le prouve le retrait brutal de la classe 11.

- Les pluies de printemps (mars-avril)

En mars-avril, les classes 9 et 6 ont des pourcentages stables, tandis que les situations-circulations des classes 7 et 8 sont plus fréquentes sur l'ensemble des Midis. Comme en janvier-février, les fréquences élevées de la classe 8 s'expliquent par l'importance des situations parfaitement dépressionnaires en altitude, provoquées par des coulées froides épaisses qui descendent loin vers le sud. Si les pourcentages faiblissent en Aquitaine, ils s'élèvent encore en Méditerranée, plus de 60 % à l'ouest du Rhône. D'autre part, l'originalité du Roussillon disparaît : ces averses donnent des hauteurs records. Mars-avril apparaissent ainsi

comme le prolongement de janvier-février, fait confirmé par l'évolution positive de la classe 7 dont les trajectoires sont essentiellement de nord. Au début du printemps, les systèmes septentrionaux sont les principaux acteurs du regain de pluviosité.

Les classes 1, 2, 4, 5, et 11 ont une évolution négative, les pourcentages faiblissant par rapport au schéma annuel. Le recul des classes 1 et 2 a pour cause le refroidissement du continent, comme en janvier-février. Le blocage des ascendances est cependant moins puissant, et la baisse des fréquences est moindre. Les situations-circulations 4 et 5, plus rares, ont une évolution différente par rapport au bimestre précédent. Si le déclin de la classe 4 peu net, ne s'oppose pas à la stagnation observée en janvier-février, le recul de la classe 5 est caractéristique; en janvier-février au contraire, les pourcentages étaient plus élevés. Cette classe 5 correspond souvent à des traines, et au début du printemps leur efficacité diminue.

Le déclin, le plus important est toujours celui de la classe 11, comme en janvier-février; les mêmes causes produisent les mêmes effets; cependant, sauf en Roussillon, ces situations méridiennes de sud, sont plus nombreuses en valeur absolue, et en pourcentage. A Nice, avec 15 % des hauteurs d'eau, cette classe occupe le troisième rang. Cette augmentation traduit le passage de l'hiver au printemps.

Parmi les trois classes mixtes, la troisième et la douzième présentent la même évolution comme en janvier-février, mais en sens inverse; en effet, les pourcentages relatifs à ces deux types de situations-circulations augmentent en Aquitaine, toujours dans des proportions élevées, et décroissent en Méditerranée, Roussillon excepté. L'évolution de ces deux classes mixtes constitue donc un second trait printanier. L'évolution de la classe 3, se rattache à celle de la classe 8, due à l'import-

tance des coulées froides en altitude, tandis qu'inversement la classe douze représente mieux les premières advections chaudes.

La classe 10 oppose l'Aquitaine où les pourcentages décroissent, et la Méditerranée où ils augmentent. Cette augmentation, faible en Roussillon, s'amplifie vers la frontière italienne; différente de janvier-février, elle témoigne encore de la spécificité des pluies printanières.

Comme en janvier-février, la persistance du rôle des systèmes septentrionaux se traduit dans les forts pourcentages relatifs aux classes 7, 8 et même 3. De nombreuses inversions, prouvent cependant que les remontées chaudes deviennent plus actives, expliquant ainsi l'augmentation généralisée de la pluviosité sur les Midis. Cet accroissement est cependant selectif; en Méditerranée il est essentiellement lié aux advections chaudes, tandis qu'en Aquitaine s'ajoute le réchauffement continental : les systèmes de nord sont donc aussi plus efficaces comme le montre l'augmentation des classes 3 et 12.

La transition de mai-juin

Pendant ce bimestre, les situations-circulations 6 et 9, toujours rares, sont stables. Les classes 1 et 10 ont une évolution positive généralisée. Les pluies non norvégiennes sont donc plus fréquentes, mais l'accroissement des hauteurs correspondantes, médiocre, est même nul en Méditerranée, car les trajectoires de nord sont dominantes. L'augmentation des chutes de la classe 10, plus importante, correspond malgré des nuances à des trains de sud, sous un flux de sud. En pays basque, les pourcentages stables de cette classe expliquent la médiocrité pluviométrique de ces mois de transition.

Les classes 7 et 5 ont une évolution négative. Le

recul de la classe 7 traduit le retrait des influences septentrionales; il est relativement plus prononcé en Aquitaine, car dès les mois précédents ces situations-circulations s'étaient raréfiées sur la Méditerranée ou du moins ne donnaient plus de pluie. En valeur absolue ces pluies, accidentelles dans les stations méditerranéennes, correspondent encore à plus de 10 % des chutes en Aquitaine, bien que les fréquences relatives de cette saison soient les moins fortes.

Le déclin de la classe 5 a les mêmes causes; les situations parfaitement dépressionnaires en altitude sont rares, et d'autre part, les flux de nord à nord-ouest en surface, sans front, ne sont pas actifs.

Une fois encore les classes 3 et 12 ont des évolutions comparables, retrait en Aquitaine et augmentation en Méditerranée, sauf dans le comté de Nice; le recul bien marqué dans le Sud-Ouest, sauf à Bordeaux, caractérise plus les apports que le nombre même des chutes. Inversement, les pourcentages relatifs à la classe 11, augmentant en Aquitaine, mais stagnent en Méditerranée; cette évolution positive est limitée au littoral, et à Toulouse ces situations-circulations, à peine plus fréquentes, donnent des apports moindres.

Les classes 2, 4 et 8 sont originales, car les pourcentages varient non pas à l'échelle des domaines, mais à l'échelle des régions. En Aquitaine centrale, les situations non norvégiennes de nord, plus fréquentes, donnent des apports toujours faibles. Dans les autres régions, cette classe 2 ne présente pas d'évolution caractéristique. Pour la classe 8, les fréquences sont moindres en Méditerranée, mais les apports sont importants. En Aquitaine, ces situations-circulations sont très fréquentes dans le seul pays basque, les pourcentages étant stables ailleurs. L'éclatement spatial est maximum avec la classe 4. En Méditerranée, le nombre de chutes ne varie pas, mais les hauteurs augmentent, sauf

dans le comté de Nice. En Aquitaine, excepté le toulousain où les pourcentages sont stables, le nombre de chutes est relativement plus important, mais les apports ne s'accroissent pas nettement.

La sécheresse d'été (juillet-août)

Au coeur de l'été, les situations-circulations, rares en valeur absolue, des classes 6 et 9 ne subissent aucune évolution caractéristique; les chutes de la classe 6 sont relativement plus fréquentes en Méditerranée, mais l'écart avec les pourcentages annuels n'est pas significatif.

Les classes 3, 4, 8 et 12 ont des pourcentages plus faibles. L'écart est à peine sensible pour les situations-circulations non norvégiennes de la classe 3, dont une des caractéristiques est la présence d'une situation parfaitement dépressionnaire en altitude. Le recul est plus marqué pour la classe 8, 5 % des averses seulement à Bordeaux; cet effondrement est général, le seuil 15 % n'étant jamais atteint; à Nice, ces averses donnent 8 % des hauteurs, contre 32 % pour l'année. Comme pour la classe cinq, un des traits originaux, la situation parfaitement dépressionnaire en altitude, s'observe très rarement en été, les dorsales s'étendant même sur l'Europe septentrionale.

Les situations-circulations des classes 4 et douze sont aussi relativement moins fréquentes; pour la classe 4, l'écart très faible en valeur absolue, est modéré pour les pourcentages; il augmente d'ouest en est, mais des conclusions formelles sont difficiles à tirer. Le recul de la classe 12, nettement plus important, caractérise des situations-circulations moins accidentelles. Sur les rivages méditerranéens, moins de 5 % des hauteurs sont dues à cette classe; les pourcentages, aussi faibles en Aquitaine, traduisent un retrait relativement plus important de ce type de chute. Les trajectoires de nord en altitude, et d'ouest en surface, expli-

quent facilement ce recul en été, quand les mécanismes méridiens de sud anticycloniques l'emportent.

Les classes 1, 2 et 11 ont une évolution inverse, positive; les situations-circulations non norvégiennes des classes 1 et 2 sont plus nombreuses, confirmant les résultats de l'analyse séparative du chapitre huit. Les deux types provoquent plus de 20 % des averses dans la plupart des stations, 38 % à Nice, mais deux caractéristiques apparaissent. Premièrement, les hauteurs correspondantes, faibles pour les situations de la classe 2, sont légèrement plus élevées pour les ondées de la classe 1, notamment sur les rivages atlantiques. D'autre part, la distribution spatiale des écarts est différente; pour la classe 1, l'augmentation maximum à l'ouest s'atténue vers l'est, et disparaît même pratiquement à l'est du Rhône où ces chutes sont accidentelles; la distribution des écarts relatifs à la classe 2 est inverse : ces situations-circulations sont d'autant moins fréquentes, par rapport à l'année, qu'on s'éloigne du golfe de Gênes vers l'Atlantique.

La classe 11 est aussi relativement plus fréquente, même si en valeur absolue des ondées sont rares, car elles correspondent à des pluies généralisées, par trajectoire de sud. Il est vrai. Cette augmentation relative ne parvient pas à combler le déficit provoqué par les autres classes.

La classe 7 présente l'évolution la plus originale; les ondées provoquées par ces situations-circulations sont relativement plus fréquentes en Aquitaine océanique, spécialement au nord, 30 % environ à Bordeaux. Cet accroissement déborde sur le Roussillon, où ces situations-circulations donnent plus de 10 % des hauteurs. A l'est, ces ondées se raréfient et leur fréquence est même inférieure à celle de l'année dans le comté de Nice. D'autre part, les hauteurs correspondantes, très faibles, ne comptent pratiquement pas dans

les totaux de juillet-août.

Conclusion

L'été est donc caractérisé par l'augmentation relative des situations méridiennes de sud, et surtout des situations-circulations non norvégiennes des classes 1 et 2. La tendance anticyclonique générale gêne les ascendances pour les autres classes, notamment 8 et 12. D'autre part, les situations-circulations non norvégiennes donnant des pluies sur des espaces réduits, expliquent le morcellement en été, surtout en Méditerranée. En Aquitaine, les situations-circulations de la classe 7, correspondant souvent à des coulées froides circulant sur la face orientale de l'anticyclone des Açores, sont une des causes essentielles des précipitations. L'anomalie positive de l'Aquitaine en été est donc déterminée partiellement par ces complexes. Les Midis méditerranéens, éloignés des descentes froides et abrités par les reliefs, sont plus secs.

Le regroupement des évolutions saisonnières en tenant compte des espaces atteints fait apparaître trois types de situations-circulations. Les ondées des classes 6 et 9 n'expliquent ni les variations saisonnières, ni les variations régionales des précipitations; elles constituent une trame régulière bien qu'exceptionnelle, car ces deux classes sont les moins nombreuses.

Les classes 1, 2, 5, 8, 4 et 11, ont de fortes variations saisonnières, mais pratiquement toujours généralisées; ainsi, les classes 1, 2 et 11 sont plus fréquentes dans l'ensemble des Midis, originalité qui débute en mai pour la classe 1 et se poursuit en septembre-octobre pour la classe 11. La classe 4 provoque aussi des chutes plus fréquentes en automne. Au contraire, les classes 5 et 8 ont des pourcentages plus élevés au coeur de l'hiver en janvier-février, et même en mars-avril pour la classe 8. Le renforcement des pluies en automne et au printemps a pour origine des situations-

circulations très différentes, de sud et sud-est en automne, parfaitement dépressionnaires en altitude, avec des trajectoires de nord, d'ouest et de sud au printemps, et même non norvégiennes quand débute l'été, en mai-juin. Si en Méditerranée, les mécanismes de sud sont la cause des deux saisons pluvieuses, en Aquitaine, des pluies printanières ont aussi pour cause le renforcement des systèmes septentrionaux quand le continent se réchauffe. Ce réchauffement, maximum à la fin du printemps explique ainsi le décalage de la saison des pluies vers le début de l'été.

Les situations-circulations 3, 7, 10 et 12 ont le plus souvent des évolutions mixtes; elles sont donc la cause essentielle des oppositions spatiales entre les domaines ou les régions, à l'échelle des saisons. La classe 10 a le plus fort pouvoir discriminant avec la classe 3; la troisième par le nombre absolu de situations-circulations, elle représente donc la cause la plus importante de variabilité non seulement temporelle, mais aussi spatiale. La classe 7, où toutes les trajectoires sont de nord ou d'ouest oppose non seulement les deux domaines, mais provoque aussi des variations interrégionales accusées, de septembre à février, pendant le maximum pluviométrique principal.

12-3 L'INTENSITÉ DES PRÉCIPITATIONS

12-3-1 LES "INTENSITÉS" ANNUELLES

Pour analyser les intensités, les pluies tombées en vingt quatre heures sont suffisantes. Chaque type de situation-circulation a été reporté à l'échelle "d'intensité" suivante :

0	-	2,5 mm	pluies très fines
2,6	-	5,0 mm	pluies fines
5,0	-	7,5 mm	pluies moyennes
7,6	-	10,0 mm	pluies fortes
	>	10,0 mm	pluies très fortes.

Les situations non norvégiennes provoquent les pluies les plus fines; la classe 2 correspond toujours à des averses donnant moins de 2,5 mm en moyenne. Les classes 1 et 3 ont en commun le fait de provoquer des pluies plus fortes en Aquitaine qu'en Méditerranée, originalité due à l'importance des trajectoires de nord et des gouttes froides en Altitude. Dans les deux classes, les situations parfaitement dépressionnaires en altitude sont un facteur très favorable, mais les trajectoires de nord en surface sont moins efficaces en Méditerranée, protégée par les reliefs; ainsi s'expliquent les intensités maxima relevées au pied des Pyrénées à Biarritz, plus de 7,5 mm pour les situations-circulations de la classe 1.

Les situations-circulations de la classe 4, appartenant au même type que les situations-circulations non norvégiennes, provoquent des pluies fines en bordelais et à l'est du Rhône; en Aquitaine méridionale et centrale, les averses fortes, deviennent très copieuses en Roussillon; à Perpignan, seule cette classe donne des hauteurs supérieures à 10 mm.

Dans le type II, les averses de la classe 6 sont modérées; très fines en Aquitaine, bordelais excepté où elles sont supérieures à 5,1 mm, elles sont fines ou très fines sur les rivages méditerranéens, sauf dans le comté de Nice où leur intensité est moyenne. Les précipitations de la classe 5, sont généralement plus intenses; fortes dans le bas-Rhône et le pays basque, elles sont encore moyennes dans le comté de Nice, puis deviennent fines en toulousain, Roussillon et bordelais.

Dans le type III, les situations-circulations de la classe 7 donnent des pluies fines et très fines dans l'ensemble des Midis, sauf en pays basque où les apports sont moyens, et surtout dans le comté de Nice où les averses sont fortes. La classe 8 introduit de nouvelles nuances régionales; les pluies fines en Aquitaine centrale et en Roussillon, moyennes sur la côte

d'Argent, plus intenses à Biarritz et Marignane, deviennent très fortes dans le comté de Nice. Les effectifs trop faibles de la classe 9, empêchent la présentation de conclusions formelles. La classe 10 donne des pluies très fines en Roussillon, et fines en Aquitaine septentrionale et intérieure; en pays basque, les intensités augmentent, ainsi qu'à l'est du Rhône sans jamais dépasser le seuil 7,5 mm.

Dans le type IV, la classe 11 oppose deux ensembles régionaux; en Aquitaine, pays basque excepté, et en Roussillon, les ondées sont fines ou moyennes; elles dépassent 10 mm et sont donc très fortes à l'est du Rhône et à Biarritz. Les chutes provoquées par les situations-circulations de la classe douze, sont d'intensités moyennes dans l'ensemble des stations, sauf à Bordeaux et Perpignan où elles sont respectivement fines et très fines.

Cette analyse succincte fait apparaître l'originalité du pays niçois où les intensités sont généralement plus fortes quelles que soient les situations-circulations; ce même caractère est encore plus marqué en pays basque où les fortes intensités sont la cause essentielle du maximum pluviométrique : six classes donnent des pluies fortes et très fortes à Biarritz, contre une seule à Toulouse et aucune à Bordeaux. Inversement, le Roussillon se distingue par six classes donnant des pluies très fines et fines, et la classe 4 à l'origine des pluies très fortes. La structure bimodale de cette province apparaît une fois encore. Les intensités peuvent varier non seulement suivant les classes, mais aussi à l'intérieur même des classes, le plus souvent sous l'influence d'obstacles montagneux.

12-3-2 LES RYTHMES SAISONNIERS

La saison pluvieuse principale
De septembre à décembre, les pluies en vingt quatre

heures provoquées par le type I sont généralement moins copieuses; la seule exception est celle du bordelais où les pluies correspondant aux classes 1, 2, 3 et 11 sont toujours plus intenses. D'autre part, les averses où la réduction d'intensité est la plus forte sont dues aux situations-circulations de la classe 2. Inversement, les apports liés aux classes 7, 8 et 10 -type III- sont plus élevés pendant cette saison pluvieuse; la seule exception est l'évolution mixte de la classe 7 : les hauteurs plus faibles en Aquitaine sont plus élevées en Méditerranée. Les intensités relatives au type IV augmentent aussi, mais l'augmentation varie d'ouest en est pour la classe douze; elles sont moins copieuses dans le comté de Nice. Les précipitations provoquées par les situations-circulations des classes 5 et 6 (type II) sont relativement moins intenses, sauf sur les rivages méditerranéens où de fortes ondées correspondent à la classe 5. Le renforcement des précipitations est toujours plus ou moins caractéristique des classes où les trajectoires méridiennes de sud prédominent. L'évolution différentielle de la classe 7 est une des principales causes de variations entre les deux Midis, les classes 5, 6 et 12 introduisant des nuances régionales.

La saison sèche principale

En juillet-août, les pluies moyennes en vingt quatre heures sont globalement moins fortes pour l'ensemble des classes. Trois exceptions notables : premièrement, le renforcement des pluies fournies par les situations-circulations non norvégiennes 1 et surtout 2; Cette augmentation reste cependant limitée, et dans aucune station-test les averses ne dépassent 5 mm. Ces intensités plus fortes ont pour origine essentielle l'influence thermique favorable, due au réchauffement des masses d'air sur un continent chaud. La troisième exception est constituée par les très fortes pluies

fournies par les situations-circulations de la classe 8 en Aquitaine, notamment à Bordeaux où la hauteur moyenne dépasse 10 mm.

La baisse des hauteurs moyennes correspond surtout au type IV, spécialement à la classe 12; dans tous les postes, les intensités moyennes sont inférieures à 2,5mm; cette décroissance est moins forte pour la classe 11, et les pluies en vingt quatre heures demeurent encore très copieuses, supérieures à 10 mm à Biarritz. En été, l'abri aérologique en altitude et la convection thermique s'opposent; pour les hauteurs moyennes en vingt quatre heures, l'abri d'altitude prédomine. La convection thermique, qui agit à une échelle moindre, provoque, toujours avec d'autres facteurs, des paroxysmes brutaux, particulièrement en Méditerranée.

Au début de l'été, en mai-juin, les pluies en vingt quatre heures sont toujours moins intenses dans la plupart des postes. La principale exception est constituée par le toulousain : les hauteurs journalières y sont toujours plus fortes pour toutes les classes des types I et III. Ces intensités plus fortes expliquent en partie le maximum pluviométrique du mois de mai. Par comparaison aux mois suivants, les classes norvégiennes 1 et 2 ne donnent pas des averses plus copieuses; seules les situations-circulations de la classe 3 provoquent des chutes plus brutales, surtout en Aquitaine. Les averses de la classe 11 dont l'évolution diffère dans les deux Midis, et celles de la classe 10 introduisent des nuances régionales. Les maxima pluviométriques ne sont donc pas dus à un renforcement généralisé de toutes les chutes, mais seuls quelques types de situations-circulations fournissent des hauteurs intenses.

La saison pluvieuse de printemps

L'évolution printanière en mars-avril est la plus complexe. Les tendances positives et négatives sont

rarement communes à l'ensemble des Midis; les situations-circulations des classes 2 et 12 qui provoquent des pluies moins intenses dans tous les postes sont l'exception; pour toutes les autres classes des oppositions régionales ou à l'échelle des Midis se dessinent. Les pluies des classes 1 et 11, plus intenses en Aquitaine, sont moins fortes en Méditerranée. L'évolution inverse, pluies plus fortes en Méditerranée et en voie d'affaiblissement en Aquitaine, caractérise les classes 6 et 8. Pour toutes les autres situations-circulations, les variations sont seulement régionales. Cette complexité dans les variations du potentiel des situations-circulations rend compte de la très forte variabilité spatiale et temporelle des précipitations printanières.

La saison relativement sèche d'hiver

En janvier-février, cette complexité ne s'observe pas; la médiocrité des averses est généralisée en milieu méditerranéen, sauf à l'extrémité orientale où les situations-circulations des classes 11 et 12 provoquent des pluies très fortes, toujours plus de 15 mm à Nice. En Aquitaine, notamment sur le littoral, les situations-circulations donnant des hauteurs plus élevées sont nombreuses et cet accroissement n'est pas limité aux classes caractérisées par des trajectoires septentrionales, comme la classe 7. Ainsi, la "sécheresse relative" de fin d'hiver a deux causes différentes : l'affaiblissement généralisé des intensités en Méditerranée, un renforcement moindre des hauteurs par rapport aux mois printaniers en Aquitaine.

12-4 LES SEQUENCES PLUVIEUSES

Deux approches différentes permettent d'appréhender les séquences : partir des types de situations-circulations quotidiennes et les ordonner, ou prendre di-

rectement des séquences puis les décomposer (1) en phases successives. La première démarche est seule prise en compte dans ce texte. L'analyse séquentielle complète nécessite l'emploi de techniques mathématiques très sophistiquées. Dans cette thèse, l'origine, le déroulement, et la fin des séquences sont analysés brièvement sans faire appel à des modèles probabilistes complexes. En outre, les classes ont été regroupées suivant les quatre types définis par l'analyse des correspondances sur les variables structurantes. Des fréquences, calculées sur les débuts et fins de séquence, sont comparées avec les fréquences regroupées du tableau 12.1, permettant de tirer quelques conclusions. Si les deux fréquences pour une structure donnée sont relativement 16 et 25 % cela signifie qu'une séquence débute rarement par de telles situations-circulations.

Sur l'ensemble des séquences, les deux domaines aquitain et méditerranéen, ont en commun la forte probabilité qu'une séquence débute par une situation-circulation du type IV donc par une précipitation spatialement très étendue. Dans toutes les stations, les fréquences calculées sur les séquences sont plus fortes que celles correspondant aux deux classes 11 et 12, 38 - 32 % à Nice et 31 - 24 % à Bordeaux.

Les trois autres types introduisent des nuances; une séquence débute aussi très souvent par une situation-circulation du type I en Méditerranée, notamment à l'est du Rhône, mais cette probabilité est moindre en Aquitaine; la seule exception est constituée par le toulousain, où ce schéma global est en réalité troublé par le poids très important des séquences d'un seul jour. L'évolution inverse caractérise le type II; la probabilité qu'une séquence commence par une situation-circulation des classes 5 ou 6, plus forte en Aquitai-

(1) Cette seconde solution a été proposée par Ch. P. Péguy aux journées climatologiques de Rennes (1974).

ne, est moindre en Méditerranée, mais les écarts sont médiocres. Dernier élément de diversité, il est moins probable qu'une séquence ait pour origine une situation-circulation du type III en Méditerranée, car les trajectoires de nord ou d'ouest des perturbations, des fronts et des flux sont dominantes dans ce sous-ensemble. En Aquitaine, aucune évolution spéciale n'apparaît en comparant les deux fréquences, mais plus d'une fois sur deux les séquences débutent par de telles situations-circulations. Les nuances régionales sont peu nettes et seuls des calculs de probabilités très précis permettraient de formuler des conclusions absolues. L'originalité du Roussillon est la seule tendance claire, de nombreuses séquences commençant par une situation-circulation du type III.

La fin des séquences présente aussi des anomalies; très souvent, dans les deux domaines, une situation-circulation du type I termine une phase pluvieuse; les situations-circulations du type II sont aussi très probables en fin de séquence pluvieuse. Par contre dans l'ensemble des Midis, les situations-circulations du type III sont relativement moins probables, bien que les fréquences demeurent élevées. Mis à part le type II, le moins important par le nombre de situations-circulations, les évolutions des différents groupes sont communes. Si le début des précipitations obéit à des schémas variables suivant les domaines et régions, la fin des phases pluvieuses ne présente pas de variations spatiales originales.

La même analyse, faite en tenant compte de la longueur des séquences, introduit de nouvelles nuances. Les séquences d'une seule journée correspondent essentiellement aux types I, III et IV en Méditerranée, les situations-circulations du type IV étant toujours les plus fréquentes, sauf en Roussillon. En Aquitaine, les

situations-circulations du type I sont rarement associées à des pluies journalières, moins de 15 % à Bordeaux et le type IV occupe la première place. Cette même distribution caractérise l'origine des séquences de deux jours, mais en Méditerranée le type I régresse très nettement, moins de 20 % à Nice. Pour les séquences de trois jours et plus, l'origine est souvent constituée par le type III, notamment en Aquitaine, car en Méditerranée le type IV reste encore important, sinon prépondérant. La fin des séquences est moins influencée par une catégorie déterminée, et comme pour l'analyse globale, les variations spatiales ne sont pas nettes.

Sans procéder à une analyse mathématique complète des séquences, quelques remarques peuvent cependant être faites concernant la succession des situations-circulations pluvieuses à l'intérieur des séquences. Le type II ne figure pas dans un ordre déterminé. Pour les séquences de trois jours et plus, la diversité est la règle, plus de 80 % des cas dans toutes les stations-tests. Les modèles les plus courants, variables, traduisent bien l'originalité des deux Midis. En Aquitaine, le schéma III - IV - III - I est le plus fréquent, tandis qu'en Méditerranée où semble manquer le début de la séquence, le schéma prend la forme IV - III - I. Pour obtenir des résultats plus précis, les techniques de chaînes de Markov devront être modifiées, puis employées.

CONCLUSION

Des conclusions méthodologiques nombreuses peuvent être tirées, mais une seule nous retiendra dans ce chapitre. Dans de nombreuses études, les coulées froides sont le détonateur qui provoque des remontées chaudes, la frontogénèse et donc les précipitations. Ce modèle,

qui explique un grand nombre de chutes, n'est pas général. Les analyses sur l'étendue spatiale des averses, leur répartition fréquentielle et séquentielle, montrent plutôt le rôle déterminant des remontées chaudes. Certes en Aquitaine, des pluies froides de traine sont visibles sur les photos de satellites, mais elles font suite à des pluies chaudes; sur les rivages méditerranéens, les pluies froides sont exceptionnelles. Du binôme coulée froide - remontée chaude, le second complexe est plus important; il représente le potentiel humide, explique les très nombreuses anomalies spatiales. Il peut pleuvoir quand l'alimentation froide est coupée, mais en Méditerranée, le fléchissement des advections chaudes interrompt toujours les précipitations; on comprend mieux alors pourquoi certaines gouttes ou coulées froides sont plus nombreuses au printemps qu'en automne, mais les maxima pluviométriques sont inversés, autre preuve du rôle prépondérant des advections chaudes. Cette anomalie est-elle limitée spatialement aux domaines tempérés marginaux, ou est-ce une règle sur l'ensemble de la zone ? Les analyses de satellites trancheront, mais ces faits remettraient en cause toutes les théories insistant sur le rôle primordial de la zone froide et tempérée dans l'organisation de la circulation générale.

Les conclusions proprement géographiques sont développées dans le chapitre quatorze qui constitue un essai de synthèse. Depuis un an, on dispose de nouveaux paramètres qui permettent d'établir une autre analyse causale, sans retenir des indicateurs de substitution. Malgré la brièveté des séries, il est nécessaire de présenter cette nouvelle démarche, qui présente aussi l'avantage, si on le désire, d'être prédictive.

C H A P I T R E T R E I Z E

INTRODUCTION A L'ANALYSE CAUSALE ET
PREDICTIVE

Dans les chapitres précédents l'analyse objective des complexes donne des résultats satisfaisants, mais imparfaits. Cette imperfection a une double cause; les paramètres intégrés, de substitution, sont trop liés, au moins certains d'entre eux, au modèle norvégien. Dans les descriptions, des documents différents, mais limités ont permis d'éclairer quelques anomalies, mais en apportant seulement des nuances. D'autre part, des prévisions peuvent être établies, mais elles demandent un traitement préalable énorme, avec les seules techniques actuellement disponibles.

Dans ce chapitre, introduction à une climatologie future, la démarche est double, prédictive et causale, bien qu'elle soit en réalité unitaire; en effet la connaissance des causes et leur quantification permettent de prédire les faits (1). Le but essentiellement théorique de cette thèse explique que seul l'aspect causal est étudié en détail, après avoir cependant rappelé quelques formes de l'analyse prédictive.

Les précipitations obéissent à la théorie des systèmes ouverts, aucune loi et aucun exemple n'ayant constitué une contre preuve (2). Dans les descriptions, les systèmes d'échelle différente sont apparus liés, et il est nécessaire de découvrir la part relative de chaque système, zonal, régional et local sur les précipitations journalières. Le modèle norvégien n'est plus du tout

(1) Il est aussi possible d'émettre des prévisions sans connaître les causes.

(2) Une théorie n'est jamais vraie; elle a une valeur heuristique aussi longtemps qu'aucun fait ne la contredit.

pris en compte même indirectement. Cette analyse est une introduction sommaire, car les données utilisables sont disponibles seulement depuis juin 1973, du moins les vitesses verticales.

13-1 L'ANALYSE PREDICTIVE ET CAUSALE : INTRODUCTION METHODOLOGIQUE

13-1-1 ANALYSE PREDICTIVE STRUCTURELLE ET DYNAMIQUE

La méfiance, sinon l'opposition des géographes vis-à-vis de la prédiction est une tradition très forte, bien que la prédiction soit une condition insuffisante, mais nécessaire de toute activité scientifique. Une géographie sans prévision n'est pas scientifique et la géographie appliquée est un mythe.

En climatologie, la prévision peut être faite à des échelles temps différentes : interannuelles, annuelles, mensuelles, journalières. Les intensités, durées, hauteurs et même les paroxysmes peuvent être l'objet de telles analyses. Pour résoudre ces problèmes, des techniques simples s'ordonnent en une triple démarche; chaque critère obéit à une loi de distribution, définie empiriquement par la constitution d'un histogramme de fréquence. Cette loi empirique est remplacée par un ajustement mathématique; la "méthode" des moindres carrés, la plus rigoureuse, s'adapte très facilement à de multiples modèles même complexes, qui sont ramenés à une fonction linéaire par anamorphose. Le lecteur attentif dispose dans cet ouvrage, d'un très grand nombre de données pour procéder à de tels ajustements; certains paramètres, par exemple les hauteurs annuelles ou les paroxysmes, sont déjà ajustés.

Dernière étape, le chercheur définit des seuils de prédiction, comme les déciles ou quintiles; ainsi, une hauteur annuelle sur dix (décile supérieur) dépasse un

seuil très précis, avec des limites de confiance. En déterminant le décile supérieur pour chaque station, il est possible d'établir une carte comme le prouvent les cartes climatiques tracées sous la conduite de Ch. P. Peguy (3). Ces cartes varient suivant le choix du seuil, qui dépend de l'utilisateur; l'hydrologue, l'agronome, l'ingénieur urbain ne retiennent pas les mêmes seuils. Un lecteur soucieux de traiter le problème d'évacuation des pluies par fortes averses à Nice ou Bordeaux peut ainsi utiliser les différentes figures représentant les hauteurs journalières et les paroxysmes.

Cette analyse prédictive, structurelle, est probabiliste; il est impossible de déterminer avec ces lois, la date précise d'un fait. La loi indique seulement que dans les trente ans à venir, si le climat ne se modifie pas, x années recevront plus de y mm ou moins de y' mm d'eau.

La prévision dynamique constitue un progrès, mais les difficultés s'accroissent, d'autant plus que ce terme recouvre deux réalités. Premièrement, il est parfois souhaitable de définir non seulement un seuil, mais aussi de connaître la répétition de faits communs ou plus généralement accidentels; ainsi, déterminer la probabilité que la mousson indienne éclate avec un retard de un mois, deux, trois, quatre... années de suite constitue un problème de prédiction dynamique. Ce même problème se pose pour l'analyste de la fonction touristique : il doit prévoir la probabilité de succession de séquences pluvieuses, de un, deux, trois... n jours pluvieux en juillet sur la côte d'Argent. Comme pour une étude structurelle simple, un modèle mathématique probabiliste permet d'obtenir des résultats. Ces modèles, des chaînes de Markov ou des "suites" de Monte-Carlo, sont souvent très complexes (4). D'autre

(3) Cartes climatiques de la France, coupures de Gap,

(4) ^{Nice...} Il est possible d'utiliser des schémas de Polya.

part, comme en analyse prédictive structurelle, il est impossible de déterminer la date exacte de l'événement analysé.

Pour obtenir cette prévision temporelle exacte, il faut utiliser des techniques spécifiques, les chroniques, ou établir un modèle explicatif. L'analyse des chroniques comprend quatre phases. Premièrement, l'existence ou l'absence d'une tendance est démontrée avec des tests nombreux qui varient suivant la forme et la nature des données. Quand une tendance est décelée, elle est mesurée par les moyennes mobiles ou mieux encore par une fonction mathématique, avec ou sans saturation. Cette double démarche s'impose ensuite pour l'analyse des cycles, deuxième composante d'une chronique. Il reste alors le résidu ou l'aléatoire, et suivant son importance une prédiction temporelle précise est plus ou moins possible. En climatologie, ce type de prévision est très rare, car la plupart des séries sont essentiellement aléatoires; ainsi, contrairement à de nombreuses affirmations, l'évolution de la pluviosité vers la sécheresse n'est pas prouvée dans les Midis (chapitre quatre). A Paris même, où l'effet de l'urbanisation est maximum, J. Dettwiller remarque que : "L'extrapolation de la tendance des courbes résultant des analyses temporelles conduirait probablement à des prévisions à long terme erronées" (5). Toutes ces analyses prédictives, simplement descriptives, ne sont nullement fondées sur la recherche d'une explication.

13-1-2 L'ANALYSE CAUSALE PREDICTIVE

Il est toujours plus intéressant d'établir des modèles prédictifs explicatifs. Pour atteindre ce résultat, les causes représentées par des paramètres sont

- (5) J. Dettwiller, Evolution séculaire du climat de Paris : influence de l'urbanisation (44).

mises en relation avec l'événement à prédire. Ainsi, dans ce chapitre, on essaye de rendre compte des hauteurs de pluie journalières par des paramètres représentant les systèmes zonaux et régionaux. Pour résoudre ce problème les variables indice de circulation zonale et vitesses verticales ont été retenues et intégrées dans un modèle de régression multiple.

L'influence du système zonal, est appréhendée par un indice de circulation. Les indices de circulation zonale, élaborés dans un premier temps par Rossby et son école, se sont multipliés. Les écoles météorologiques russes et allemandes ont persévéré dans cette voie, féconde au moins à une certaine échelle. Suivant la rapidité des flux d'ouest, "élément moteur" de la circulation tempérée, il est démontré que la position, la forme, la superficie et l'intensité des centres d'action semi permanents varient fortement. Quelques règles sont rappelées par P. Bernadet (6) ou A. Prudhomme (7); un bas indice de la circulation s'accompagne des caractères suivants : la dépression d'Islande a une position plus occidentale ou plus méridionale, à moins qu'elle ne se morcelle en deux centres, dont un entre les Açores et le sud-ouest de l'Europe; d'autre part, les anticyclones subtropicaux peu puissants, sont souvent fragmentés et orientés nord-sud. Inversement, un haut indice de circulation zonale se traduit par une dépression " d'Islande unique dans sa position normale, et des anticyclones subtropicaux bien développés et étendus, avec leurs axes orientés ouest-est".

Les indices et profils de circulation zonale, nombreux, intègrent des contraintes apparues au cours d'analyses précises. Dans cette thèse est retenu un index calculé par les services météorologiques allemands,

- (6) P. Bernadet, Indices et profils de circulation zonale (34)
 (7) A. Prudhomme, L'index de circulation zonale (69).

choix motivé par deux raisons précises. Cet index, défini entre le 35° nord et le 65° nord, englobe bien les Midis; en outre, les Allemands distinguent un indice circumpolaire général, et un indice restreint, calculé entre le 20° W et le 40° E; ce dernier illustre plus spécialement l'intensité de la circulation zonale sur l'Europe.

Les puristes peuvent douter de la valeur de cet indice, car il est souhaitable de prendre un écart plus grand en longitude; en fait, les courbes représentatives des deux indices sont symétriques, sinon confondues; à un maximum de la courbe générale, correspond un maximum de l'index européen. L'unique différence est l'amplitude des phases, plus grande pour l'index européen.

Seconde variable, la vitesse verticale au niveau 800 mb à 00 heures, représente le système provincial. Des cartes de vitesses verticales aux niveaux 800 et 600 mb sont tracées depuis moins d'un an; leur maille de 360 ou 180 km, indique qu'une différence est mal perçue en deçà de ces distances. Le seuil 180 km est parfaitement bien adapté aux Midis, les six stations de Bordeaux, Biarritz, Toulouse, Perpignan, Marignane et Nice sont à des distances plus grandes les unes des autres. Cependant, les systèmes aérologiques ne sont pas saisis par cette grille.

Ce paramètre présente cependant un double défaut; les séries disponibles sont trop brèves, moins d'un an, et certains modèles saisonniers de régression ne peuvent pas être testés. D'autre part, la comparaison des cartes 600 et 800 mb donne une carte des valeurs de la divergence; ce paramètre mathématique, différent de la diffluence, est une véritable synthèse de la situation-circulation à l'échelle du domaine aquitain ou méditerranéen. Il n'a pas été retenu, car l'élaboration des cartes au niveau 600 mb est trop récente. Chaque situation pluvieuse, à partir de juin 1973, est donc carac-

térisée par un indice de circulation zonale, unique dans les six stations tests, et une vitesse verticale variable.

Le modèle n'intègre aucun paramètre représentant le système régional-local. Dans les précédents chapitres, ces systèmes semblent prépondérants pour expliquer l'intensité des hauteurs et leur répartition spatiale. Pour obtenir des prévisions très fines, un ou plusieurs indices systhétiques représentatifs des systèmes locaux sont nécessaires, mais dans cette thèse le but poursuivi est d'établir un modèle plus théorique que pratique, pour apprécier la part respective d'explication apportée par chaque système. L'effet du système régional-local est partiellement traduit par les résidus qui intègrent aussi le hasard (8). La dernière variable du modèle est la hauteur de pluie en millimètre, tombée de 18 h à 6 h; la variation assez rapide du paramètre vitesse verticale à 800 mb, interdit de retenir les hauteurs d'eau tombées en vingt quatre heures; la série la plus longue des vitesses verticales est constituée des cartes élaborées pour 00 heures, entraînant le choix des hauteurs recueillies entre 18 et 6 heures.

Le modèle mathématique proposé est la régression multiple :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots a_nX_n + \epsilon$$

où

Y est la variable dépendante, la hauteur de pluie en mm

$X_1, X_2 \dots X_n$ sont les variables causales, deux dans cette thèse.

(8) Ce problème pourra être repris dans quelques années, en prenant comme variables représentatives, l'index de circulation zonale, la valeur de la divergence, ou mieux son évolution et d'autres paramètres. Il est en effet souhaitable, pour un modèle prédictif, d'intégrer le temps, car tous les paramètres évoluent rapidement.

le résidu représente l'effet du système local, apprécié indirectement.

Ce modèle mathématique doit obéir à des contraintes importantes. Les variables qualifiées d'indépendantes peuvent être corrélées entre elles, mais cette corrélation doit être faible. Quand la corrélation entre deux variables dépasse plus ou moins 0,95, elles sont colinéaires; le modèle régressif peut toujours être établi, mais il ne peut pas être testé. Dans ce chapitre, les corrélations, toujours très inférieures à ce seuil, témoignent des relations existant entre système zonal et système provincial; mais, elles ne sont ni stables ni à sens unique, confirmant ainsi la multiplicité des formes d'autorégulations constatées dans le chapitre neuf.

Il est toujours possible d'ajuster une droite, un plan ou un hyperplan dans un nuage de points à deux, trois ou n dimensions, c'est-à-dire calculer les paramètres a_0 , a_1 , a_n . En terme matriciel il suffit de calculer :

$$a = (X'X)^{-1} X'Y$$

Les paramètres a définis, il faut tester la validité du modèle obtenu et apprécier son pouvoir explicatif. La validité d'un modèle de régression multiple est donnée par le test F de Snédecor. Une valeur F , calculée à partir des variances dues à la régression et résiduelles, est comparée à F' lue dans la table de Snédecor. Si

$$F > F'$$

est vérifiée, le modèle de régression multiple est significatif.

Le pouvoir explicatif du modèle est défini par le coefficient de détermination multiple, carré du coefficient de corrélation multiple. Il varie de 0 à 1; si R^2 est proche de 1, le modèle explicatif est élevé; ainsi $R^2 = 0,86$ signifie que 86 % de la variance de la variable Y , hauteur de pluie dans ce texte, est expliquée par le modèle régressif.

Tous les traitements sont effectués par ordinateur, en employant le programme BMD de régression multiple pas à pas (9). Ce programme, outre le test F et le coefficient de détermination multiple, calcule des paramètres très utiles, notamment les erreurs-types des différents paramètres, les tables de corrélation et de variance; mieux encore, il ordonne les variables $X_1, X_2 \dots X_n$ suivant leur pouvoir explicatif. Partant de la matrice des corrélations simples totales, calculées deux à deux entre les variables indépendantes et la variable dépendante, l'ordinateur retient X_1 , variable la plus fortement corrélée, par exemple X_2 et propose un modèle initial :

$$Y = a_0 + a_2 X_2 + \epsilon$$

Puis les coefficients de corrélation partielle entre Y et les autres variables que X_2 , sont calculés; la variable qui a la plus forte corrélation partielle, par exemple X_4 , est alors intégrée dans le nouveau modèle

$$Y = a_0 + a_2 X_2 + a_4 X_4 + \epsilon$$

qui est testé. Si le test est positif, une nouvelle variable est intégrée par une nouvelle itération. Quand le test F est négatif, le modèle est définitivement établi. D'autre part $a_1, a_2 \dots$ varient suivant les unités, et pour hiérarchiser l'influence de chacune des variables, le programme modifié calcule des coefficients $a'_1, a'_2 \dots$

$$a'_i = a_i \cdot s(X_i) / s(Y)$$

où $s(X_i)$ et $s(Y)$ sont les écarts types des variables X_i et de Y.

13-2 FORME ET VALIDITE DES MODELES DE REGRESSION

Les modèles de régression, pour les six stations-

(9) Biomedical computer programs (Dixon éditeur) (7).

TAB. 13.1 MODELES DE REGRESSION SIGNIFICATIFS
A DEUX VARIABLES

		Régression	R_1	R_2
Bordeaux	1	$Y = 39,6 + 0,003 \log X_1 - 2,46 X_2$	0,28	0,28
Biarritz	1	$Y = 62,9 - 0,02 \log X_1 - 0,70 X_2$	0,31	0,33
	2	$Y = 89,9 - 0,05 \log X_1 - 0,80 X_2$	0,49	0,50
	5	$Y = 141,3 - 0,08 \log X_1 + 0,20 X_2$	0,58	0,59
Toulouse	1	$Y = 38,1 - 0,01 \log X_1 - 1,35 X_2$	0,38	0,44
	2	$Y = 49,9 - 0,02 \log X_1 - 1,91 X_2$	0,42	0,52
	4	$Y = 61,0 - 0,03 \log X_1 - 1,05 X_2$	0,52	0,65
Perpignan	1	$Y = 13,8 + 0,01 \log X_1 - 2,37 X_2$	0,47	0,48
	2	$Y = 25,9 + 0,01 \log X_1 - 4,07 X_2$	0,56	0,57
Marignane	1	$Y = 65,3 - 0,03 \log X_1 - 6,91 X_2$	0,39	0,40
	4	$Y = 0,51 + 0,01 \log X_1 - 5,58 X_2$	0,60	0,60

1 ensemble des données

2 septembre-décembre

3 juillet-septembre

4 décembre-février

5 X_2 négatif

R_1 R_2 coefficient de corrélation multiple
après l'introduction de la première
variable (X_2) puis de la seconde
($\log X_1$).

tests ont été calculés pour toutes les données disponibles, pour les données saisonnières de septembre-décembre, juillet-septembre et décembre-février. Ces saisons ne sont pas exactement calquées sur les régimes saisonniers, car il faut au moins un échantillon de vingt cinq averses pour obtenir un ordre de grandeur valable. Un dernier ensemble de modèles régressifs, ne retient que les averses associées à des vitesses verticales "négatives", frontales, de secteur chaud... excluant ainsi les pluies de trainees (10). Ce dernier test est fait pour obtenir des modèles prédictifs plus efficaces. Enfin, pour les trois postes méditerranéens, le nombre de données, insuffisantes en été, ne permet pas de formuler des conclusions définitives.

L'hypothèse de linéarité doit être vérifiée dans un modèle de régression multiple; la solution la plus simple, consiste à dessiner sur un graphique le type de relation entre chaque variable indépendante et la variable dépendante, les hauteurs d'eau recueillies en douze heures. La relation entre l'indice de circulation zonale et les pluies n'est pas linéaire. Une anamorphose a été établie par l'emploi de logarithmes, d'où la forme générale des modèles de régression

$$Y = a_0 + a_1 \log X_1 + a_2 X_2$$

Quand cette anamorphose n'est pas faite, deux modèles seulement sur vingt-sept sont valides. La validité du modèle de régression est prouvée par le test F de Snédecor; trois cas sont possibles. Le modèle est parfaitement significatif après l'introduction des deux variables; l'intégration de la seconde variable n'est pas justifiée; enfin, le test F négatif dès la première variable, signifie que le modèle n'est pas valable. Sur vingt-sept modèles déterminés, onze sont parfaitement

(10) Les valeurs négatives traduisent en réalité des vitesses positives dans le sens bas-haut.

significatifs, dix doivent être rejetés, et six enfin sont significatifs avec une seule variable.

Les modèles non significatifs correspondent toujours aux régressions intégrant les données recueillies en été. La brièveté des séries est une première cause, le test F probabiliste est plus rigoureux pour les petits échantillons. D'autre part, en été, la circulation zonale est mal traduite par un indice de circulation zonale, idée déjà défendue par A. Prudhomme : "Cette méthode de prévision voit surtout son application pendant les périodes froides car durant l'été la distinction entre les circulations de haut et bas index est moins marquée" (11). Une troisième cause explique ces résultats négatifs : en été, les systèmes généraux ont une influence négligeable par rapport aux systèmes régionaux et locaux. Cette primauté des systèmes régionaux dans la genèse des pluies rend compte de leur superficie; au coeur de l'été les averses de faible étendue sont plus fréquentes. La prévision des pluies journalières, impossible sans l'introduction de paramètres régionaux et locaux, est très difficile à l'échelle de la journée.

L'originalité des pluies d'été a pour cause les variations spatiales accusées du bilan énergétique. Les anciens ont "inventé" les pluies de convection thermique selon P. Pedelaborde qui ajoute : "L'échauffement à la base accentue seulement l'action dynamique des fronts, mais l'action des fronts est essentielle : quand il n'y a pas de front, les pluies ne se déclanchent pas"(12). La première partie de cette citation est exacte, très souvent la convection thermique joue dans le même sens que les fronts, mais la seconde partie est erronée :

(11) A. Prudhomme, L'index de circulation zonale (69).

(12) P. Pedelaborde, Introduction à l'étude scientifique du climat (61).

des précipitations nombreuses sont recueillies en l'absence de front. Les classes 1, 2 et 3 représentent des situations pluvieuses non norvégiennes, sans front, observées en Méditerranée et en Aquitaine. De telles averses ont été reconnues aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et même dans le Jura (13); ainsi divers auteurs signalent ces ondées non frontales.

Il est possible de souligner l'influence des ascendances orographiques en Provence, mais à l'ouest du Rhône, et surtout dans les plaines toulousaines cette hypothèse n'est pas vérifiée. La convection thermique est donc un facteur important de la pluviosité en été; ce facteur n'est pas à lui seul déterminant, comme tous les autres facteurs, car les mécanismes pluviométriques obéissent à la théorie des systèmes ouverts; mais en été, il ne doit pas être négligé (chapitre trois).

Le rôle mineur de la circulation zonale se prolonge en septembre-décembre, sur les littoraux méditerranéens, à l'est du Roussillon; à Marignane et Nice, les modèles de régression sont encore non significatifs. En automne, les systèmes régionaux et locaux demeurent très importants. Le Roussillon, original, constitue souvent à l'échelle des averses journalières une apophyse de l'Aquitaine. Inversement, dans le comté de Nice, aucun modèle de régression intégrant les deux paramètres n'est significatif. Sur cette marge climatique du golfe de Gênes, les facteurs locaux, orographiques et dynamiques prédominent; les dépressions locales, maintes fois décrites dans les chapitres neuf et dix peuvent seules rendre compte sinon du déclenchement des averses, du moins des hauteurs et de leur distribution spatiale.

Les modèles significatifs correspondent aux pluies de saison froide. En Aquitaine, sauf à Bordeaux, les régressions multiples sont déjà satisfaisantes en automne. Dans les postes méditerranéens, la validité de

(13) ET. Stringer, Foundations of climatology (74).

ces équations n'est vérifiée qu'à la fin de l'hiver, de décembre à février. Pendant les saisons pluvieuses d'automne, en Aquitaine, et d'hiver pour l'ensemble des Midois, il est donc possible d'élaborer des modèles prédictifs significatifs. Ces modèles sont-ils fortement explicatifs ? Telle est la seconde question à résoudre.

13-3 DU POUVOIR EXPLICATIF DE LA VARIABLE DOMAINE

Le pouvoir explicatif des modèles demeure faible; le coefficient de détermination le plus élevé n'atteint pas le seuil 0,50. En clair, établir des prévisions journalières avec ces équations donnerait des résultats erronés plus d'une fois sur deux. Dans tous les cas, annuels et saisonniers, les systèmes régionaux-locaux doivent être introduits sous la forme d'un ou plusieurs paramètres pour espérer obtenir des résultats moins grossiers.

Dans tous les modèles de régression, la variable vitesse verticale, représentant le système à l'échelle du domaine, a un pouvoir explicatif très supérieur à l'indice de circulation zonale. A Bordeaux, où la seule équation valide est celle comprenant toutes les données, l'introduction de la variable vitesse verticale donne un coefficient de corrélation multiple $R = 0,275$; l'apport "explicatif" de l'indice de circulation zonale est pratiquement nul, le coefficient s'élevant à 0,278, soit moins de 1 % en plus.

L'Aquitaine centrale constitue une exception; l'indice de circulation zonale toujours moins "explicatif", a cependant un rôle non négligeable. Les coefficients de corrélation multiples subissent des augmentations de 10 à 15 %; ainsi en décembre-février, R passe de 0,52 à 0,65 quand est prise en compte la circulation zonale. La cause de ces variations explique partiellement l'originalité pluviométrique de l'Aquitaine intérieure; dans

le pays basque des pluies régionales dues à l'effet combiné des proches reliefs et de systèmes régionaux piégés dans le golfe de Gascogne peuvent tomber sans que la situation générale soit nette; à Bordeaux, ce même phénomène a pour origine l'effet de proximité du littoral. En Aquitaine intérieure, il ne pleut en moyenne que par situation zonale favorable. Les systèmes régionaux existent aussi, mais leur rôle est moindre, sauf en été quand le coefficient de corrélation multiple reste inférieur à 0,50.

A l'échelle de l'année, les coefficients de corrélation multiple ont une variabilité spatiale caractéristique; faibles sur le littoral atlantique, 0,28 seulement à Bordeaux, ils s'élèvent en Aquitaine centrale et sur les littoraux méditerranéens, supérieurs à 0,40 à Perpignan et Marignane, sauf à Nice où le modèle de régression n'est pas valide. Il est difficile d'expliquer cette distribution spatiale, car la brièveté des séries constitue un handicap trop sérieux.

Le pouvoir explicatif des équations de régression pour les trimestres non estivaux augmente par rapport au modèle global, fait non surprenant; cependant, l'essentiel de l'accroissement des coefficients de corrélation multiple n'est pas lié à la situation générale, mais à la variable vitesse verticale. A l'échelle journalière, quel que soit le modèle établi, annuel, saisonnier, avec les données disponibles, l'effet zonal n'apparaît pas.

La hiérarchie "explicative" donnée par ces modèles est contraire à la théorie classique où les systèmes de grande taille sont tyranniques. Dans tous les modèles, l'indice de circulation zonale explique moins de 5 % de la variance et les vitesses verticales moins de 50 %. Cette constatation entraîne des conclusions théoriques et pratiques.

Les analyses de P. Bernadet (14) en France, des climatologues russes et américains, démontrent l'intérêt de l'indice de circulation zonale pour établir des prévisions saisonnières et mensuelles; or nos conclusions étant diamétralement opposées, plusieurs hypothèses sont possibles. Premièrement, la brièveté des séries est trop élevée; d'autre part, l'indice allemand serait peu précis, ce qui est contraire à sa formulation; intègre-t-il mal le fait que le tourbillon circumpolaire est souvent décentré par rapport au pôle ? En fait, deux causes plus spécifiquement scientifiques sont probables; les échelles durée sont totalement différentes, le jour dans cette thèse, le mois ou la saison donc un indice moyen dans les travaux cités. Une fois encore se vérifie une règle fondamentale : les lois changent suivant l'échelle retenue. En outre, les Midis sont en marge du grand mouvement circumpolaire d'ouest comme l'attestent les résultats du chapitre huit, et l'influence zonale s'estompé. Quoiqu'il en soit, même si les systèmes régionaux-locaux ne parviennent pas toujours à provoquer des averses, ils sont les principaux responsables des hauteurs et de leur distribution spatiale, à l'échelle de l'averse.

La conséquence pratique évidente doit être l'organisation de deux séries de recherches prévisionnelles, la prévision méso-climatique sur de courtes périodes et la prévision macro-climatique de longue durée. Il est possible de présenter une méthode unique, des techniques voisines, mais en retenant des hiérarchies différentes de systèmes et de leurs relations.

CONCLUSION

Les modèles de régression établis dans ce chapitre,

- (14) P. Bernadet, Remarque sur une théorie de la circulation générale, essai d'application à la prévision saisonnière (été) (35).

constituent une simple introduction théorique. La faiblesse des coefficients de détermination, interdit de formuler des prévisions directement utilisables. Pour améliorer ce modèle il faut représenter, sous forme de variables caractéristiques, l'influence des systèmes régionaux et locaux. Le choix de ces paramètres dépend essentiellement du type de prédiction journalière, mensuelle...

Par contre l'intérêt théorique de cette analyse doit être réaffirmé. A l'échelle des averses, la hiérarchie des influences sur les hauteurs et leur variation spatiale, est inverse à celle proposée par la théorie classique : l'influence zonale est plus faible que l'effet régional et local. L'effet d'échelle et la situation marginale des Midis, sont les deux causes essentielles de cette anomalie que des séries plus longues permettront de mieux préciser. D'autre part, il y a des pluies synoptiques directement liées aux vitesses verticales, et des pluies aérologiques, non appréhendées par la maille retenue.

CHAPITRE QUATORZE

LOIS ET ESPACES PLUVIOMETRIQUES
ESSAI DE SYNTHESE

Ce dernier chapitre est un essai de synthèse ordonné autour des trois grandes échelles spatiales retenues, ensemble des Midis, les deux domaines, et enfin les grandes provinces pluviométriques. Après avoir rappelé les grandes lois et leurs causes, les caractéristiques spatiales sont analysées.

14-1 LES LOIS A L'ECHELLE DES MIDIS14-1-1 LES LOIS STRUCTURELLES

- Les éléments moyens

Chaque élément climatique s'ordonne toujours suivant une loi structurelle. Les éléments simples, durées et intensités, et les éléments complexes, hauteurs et paroxysmes, qui illustrent la pluviométrie moyenne, par exemple les hauteurs mensuelles, dessinent tous des courbes en cloche. Ces courbes, symétriques à l'échelle de l'année, sont l'illustration de la loi normale. A l'échelle du mois, les courbes présentent presque toujours, sauf peut-être pour les durées (1), une légère dissymétrie, les lois mensuelles sont donc du type gamma ou kappa. Seuls les modèles estivaux sont plus complexes, car l'absence totale de pluie se traduit par un très grand nombre de valeurs nulles; l'ajustement par la loi gamma tronquée n'est pas toujours satisfaisant, mais la brièveté des séries interdit toute conclusion définitive.

(1) Il est impossible de trancher, les séries étant trop brèves.

Quoi qu'il en soit toute distribution en courbe gaussienne ou gamma a pour origine de multiples causes. Tout essai, où de telles lois sont expliquées par un facteur déterminant unique, constitue une erreur de logique. La brièveté des séries, un an pour les vitesses verticales, interdit l'élaboration d'un modèle de régression général pour quantifier la part d'explication de chaque complexe, zonal, méridional et régional-local. Il est cependant possible d'isoler l'influence zonale, grâce à une série de dix-huit ans (1956-73). Un modèle de régression simple a été établi :

$$Y = a_0 + a_1 X_1$$

où Y sont les hauteurs de pluie, mensuelles ou annuelles, et X_1 les moyennes mensuelles ou annuelles correspondantes de l'index de circulation zonale. Ces treize modèles pour les six stations-tests, montrent qu'à l'échelle des douze mois et de l'année, l'influence zonale est indéniable. Les coefficients de détermination multiples, compris entre 18 et 31 % attestent l'importance du pouvoir explicatif des mécanismes zonaux à cette échelle, résultats qui confirment ceux de P. Bernadet (2). Les trois complexes concourent donc à l'explication, et il est illusoire d'essayer de rechercher une explication isolée. D'ailleurs, ces lois de distribution se vérifient non seulement à l'échelle des Midis, mais même à celle de la zone tempérée; seuls les paramètres descriptifs, moyenne et écart-type des lois gaussiennes, varient.

Ces courbes normales ou légèrement dissymétriques, larges de base pour les intensités, platicurtiques, sont au contraire très resserrées pour les durées, leptocurtiques, et mésocurtiques pour les hauteurs. Ces formes

- (2) P. Bernadet, Remarques sur une théorie de la circulation générale, essai d'application à la prévision saisonnière (35).

illustrent la variabilité; très forte pour les intensités, elle décroît pour les hauteurs et devient minimum pour les durées, paramètre le plus régulier. Les pourcentages "d'explication" du système zonal, toujours faibles pour les intensités, moins de 24 %, sont au contraire plus élevés pour les durées, supérieurs à 28 %; ces résultats indiquent que la variabilité temporelle structurelle a pour cause principale les mécanismes de moindre ampleur : le système zonal a un pouvoir explicatif d'autant plus élevé que la variabilité de l'élément considéré est faible.

- Les averses individuelles

A l'échelle des averses journalières, ou même horaire, les lois sont représentées par des équations mathématiques diverses, par exemple :

- $Y = a + bX^2 + CX / X$ pour les hauteurs en vingt quatre heures,

- $I = a / b + t$ pour les paroxysmes,

- logarithmique pour les séquences de 1, 2 ... n jours.

Ces formulations mathématiques précises, dont les différents paramètres varient aussi suivant les stations-tests, illustrent toutes des courbes en I : les fréquences les plus fortes correspondent toujours aux classes les plus faibles. La loi émise par Ch. P. Peguy pour les pluies en vingt quatre heures est généralisable à tous les attributs, durées, intensités réelles, paroxysmes. La seule exception, mais importante, est constituée par les intensités réelles en été, particulièrement sur les rivages méditerranéens; les intensités réelles faibles ne sont pas les plus nombreuses.

L'explication de ces lois, par l'analyse causale de régression multiple, a été faite dans le chapitre précédent pour les hauteurs. L'essentiel du pouvoir explicatif, toujours plus de 50 % est donné par les mécanismes

régionaux et locaux; l'influence zonale disparaît à l'échelle des ondées, aucun coefficient de détermination n'étant supérieur à 5 %. Ainsi, par comparaison avec les paramètres moyens, la déformation des courbes a pour origine le transfert du pouvoir explicatif des mécanismes zonaux. Cette caractéristique, démontre l'importance fondamentale de l'échelle en analyse climatique.

Ces variations s'expliquent assez facilement. L'index de circulation zonale varie sur de "longues périodes", de huit à quinze jours, les vitesses verticales en quarante-huit heures ou moins. Les systèmes régionaux-locaux sont les plus éphémères; déterminants d'après l'analyse de régression multiple, mais moins stables, ils rendent parfaitement compte du tracé général des courbes, des hautes fréquences des classes de faibles intensités, durées et hauteurs. D'autre part, les systèmes régionaux-locaux, plus fréquents, augmentent en Méditerranée la part de ces classes faibles; le paradoxe de faibles hauteurs journalières est ainsi logiquement résolu par l'analyse quantitative.

14-1-2 LES LOIS DE VARIABILITE

- La variabilité dynamique des hauteurs

A l'échelle séculaire ne se dessine aucune tendance nette de la pluviosité; si dans la seconde moitié du dix-neuvième siècle, les précipitations semblent se raréfier, au vingtième siècle se succèdent des phases d'intensité plus forte, mais plus brèves. Les phases humides, concordantes dans toutes les régions méridionales, présentent cependant des nuances; la première (1905-1915) s'intensifie vers l'est, tandis que le fait inverse s'observe pendant la seconde (1925-1940). La troisième décade humide, plus brève, est surtout nette aux deux extrémités, Provence et littoral atlantique. L'explication est actuellement impossible, en l'absence d'un

calendrier centenaire des types de situations-circulations sur les Midis; il est difficile d'utiliser d'autres séries de situations plus générales proposées par certains auteurs.

Le seul fait solide, contraire aux idées longtemps admises, est donc l'absence d'aridification progressive au vingtième siècle. L'évolution inverse à peine sensible empiriquement, non prouvée par les tests, peut être due à des relevés plus précis, à l'urbanisation croissante; elle s'effectue par saccades.

Deux autres caractères ont été prouvés; le maximum pluviométrique mensuel s'est déplacé, en novembre sur la Méditerranée, et en décembre sur l'Aquitaine. L'explication de ce décalage, indépendant des variations annuelles et interannuelles réside dans une anomalie de grande ampleur de la circulation atmosphérique, mais il est impossible de préciser laquelle. Les travaux effectués sur la circulation générale, très divers, n'autorisent aucune conclusion nette. Cependant des phases de circulation rapide, succèdent à des phases de circulation lente, phases en liaison étroite, mais non permanente, avec les cycles interdécennaux de l'activité solaire.

Cette hypothèse si elle est vérifiée permet de comprendre pourquoi le contraste été sec - automne humide s'accroît pendant les périodes pluvieuses; en effet, la circulation étant plus lente, les dorsales dominent toujours en été, mais en automne et hiver, quelques talwegs profonds très stables et fréquents sont à l'origine des phases pluvieuses. Inversement, par circulation rapide, les mécanismes méridiens favorables aux pluies sont moins intenses et moins fréquents, et en outre, les variations saisonnières sont moins accentuées.

Cette même hypothèse permet de comprendre les paroxysmes pluviométriques à l'échelle annuelle; en effet, les excès répartis sur toute l'année sont très rares;

d'autre part, l'été pourri est peu fréquent pendant les années pluvieuses; les variations des saisons humides sont plus décisives, plus du tiers des années excédentaires ont pour origine des apports maxima pendant les mois pluvieux. Ainsi, pendant les périodes de circulation lente, automne et / ou printemps reçoivent des pluies très abondantes. Cette hypothèse explique donc parfaitement les variations générales moyennes, mais elle n'est pas actuellement vérifiable; les travaux, sur des séries reconstituées, nécessitent une très grande prudence d'interprétation.

- Les variabilités structurelles

La variabilité structurelle, maximum pour les paroxysmes, diminue ensuite pour les intensités, les hauteurs, et devient très faible pour les durées; malgré des séries brèves, les coefficients de variation des durées annuelles moyennes sont toujours inférieurs à 25 %. Cette première règle vérifiée pour les moyennes mensuelles et annuelles, reste valable à l'échelle des averses. L'origine de ces différences entre les paramètres descriptifs est due aux variations du pouvoir explicatif des trois types de systèmes; l'influence des systèmes locaux, très forte sur les paroxysmes, est moindre sur les hauteurs et devient minimum sur les durées.

Cette explication démontrée par les divers modèles de régression multiple demeure valable pour les variations spatiales des variabilités; très faibles pour les durées, elles augmentent pour les hauteurs et sont maxima pour les paroxysmes. En Méditerranée, où les systèmes locaux sont plus fréquents, le morcellement spatial de la variabilité, comme celui des tendances moyennes, est toujours plus prononcé.

A l'échelle mensuelle, les variabilités mensuelles sont toujours plus accusées; ainsi, en pays basque, la

variabilité relative des durées est comprise entre 10 et 37 %. Cette augmentation des dispersions est surtout caractéristique en Méditerranée, où les variabilités annuelles, moins fortes qu'on ne l'a décrit, reflètent souvent des faits de compensation. En outre, de nombreuses anomalies spatiales apparaissent à l'échelle du mois.

Les relations directement proportionnelles entre la variabilité absolue et la valeur moyenne d'un attribut, et la relation inversement proportionnelle quand est prise en compte la variabilité relative, sont bien vérifiées seulement pour les données annuelles et dans un cadre régional. Pour des espaces plus vastes, domaine ou ensemble des Midis, il est toujours possible de tracer une droite, mais elle n'est pas significative : les lois sont valables dans un cadre spatial restreint, même en Aquitaine. A l'échelle mensuelle, les exceptions deviennent la règle, et les relations directement ou inversement proportionnelles sont rarement vérifiées, même pour les durées. Seuls les mois typiques, décembre pluvieux, et juillet très sec, obéissent à ces lois, avec parfois des décalages. D'autre part, la relation directement proportionnelle, avec la variabilité absolue, est plus souvent vérifiée que la relation inversement proportionnelle unissant les variabilités relatives et les valeurs moyennes.

Ces relations dépendent des paramètres descriptifs; elles s'estompent quand les variabilités structurelles et spatiales augmentent. Ainsi, les averses très intenses sont les moins régulières quelle que soit la région considérée; la relation entre la dispersion absolue de chaque type d'intensité et leur nombre est bien directement proportionnelle, mais elle n'est pas linéaire. Les liens entre les fréquences absolues des intensités réelles et leur variabilité, encore moins nette, se vé-

rifient peut-être à l'échelle régionale. Pour les paroxysmes, la brièveté des séries est un handicap; la seule règle observable concerne la relation directement proportionnelle entre le total des paroxysmes et leur variabilité absolue, tendance vérifiée seulement en Aquitaine. Les relations intégrant la variabilité relative, et les règles à l'échelle mensuelle, ne sont plus discernables.

- L'originalité spatiale de la variabilité des hauteurs

Il reste de nombreuses anomalies spatiales des différents types de variabilité, certaines étant simplement statistiques; ainsi, en automne-hiver, la variabilité relative des pluies recueillies en vingt quatre heures est identique pour les différentes stations-tests, mais en réalité les hauteurs médianes et les dispersions absolues variant dans le même sens, entraînent cette uniformité. D'autres anomalies régionales sont examinées dans la troisième partie de ce chapitre.

L'anomalie de la variabilité relative des hauteurs annuelles en Méditerranée est importante; la dispersion relative décroît d'ouest en est, indépendamment des hauteurs. A l'ouest, l'anticyclone des Açores et les dépressions des Baléares règlent le temps; ces mécanismes sont très instables, instabilité par effet de marge pour l'anticyclone des Açores, et instabilité de taille et de fréquence des dépressions des Baléares; l'isolement géographique et la forme du Roussillon, qui peuvent devenir un piège, accroissent encore cette instabilité climatique. Vers l'est, le rôle du minimum de Gênes plus vaste, plus permanent prend le dessus; des études non publiées de Mlle Guigo confirment le recul de la variabilité relative à l'échelle annuelle sur la côte ligur.

14-1-3 LES REGIMES

L'année pluviométrique, non calquée sur l'année ci-

vile, ne peut pas être divisée arbitrairement en trimestre ou bimestre. Trop d'articles récents conservent ce cadre désuet. Il est d'autant plus grave de persévérer dans cette voie erronée que la variabilité des régimes, étudiée dans ce cadre, est faussée. L'hiver méditerranéen est démonstratif; décembre est rarement un mois sec, et l'hiver occupe le second rang grâce aux averses de ce mois, même si janvier et février sont relativement secs. Si en décembre la sécheresse sévit, l'hiver rétrograde parfois à la quatrième place et on soulignera à tort sa grande variabilité saisonnière. L'exemple de l'agenais est encore plus saisissant. Les douze mois reçoivent des totaux sensiblement égaux. Une légère anomalie mensuelle suffit à bouleverser le "régime" et H. Schneider écrit : "Agen présente le cas paradoxal que son type HAPE n'apparaît pas une fois en vingt ans" (3). Le lecteur peut conclure à une variabilité record, or Agen est une des stations méridionales où les coefficients de variations sont les plus faibles, témoignage d'une régularité exemplaire.

Les régimes moyens des hauteurs, variables suivant les échelles spatiales et temporelles, sont pour la plupart binaires. Au maximum principal d'automne et du début de l'hiver succède une sécheresse relative à peine marquée en Aquitaine, plus prononcée en Méditerranée. Le second maximum, moins fort, varie plus dans le temps suivant les régions; il se déplace vers le début de l'été en Aquitaine intérieure.

Les deux exceptions du littoral basque et rhodanien, où le second maximum printanier apparaît ~~malor~~ pour cause principale, un effet statistique. Des déphasages des saisons pluviométriques sont suffisants pour estomper l'excès pluviométrique de printemps, par rapport à janvier-février. Le régime complexe du toulousain est une

(3) H. Schneider, Esquisse d'un profil pluviométrique de la Gironde à la Méditerranée (118).

troisième exception, analysée en détail dans l'étude régionale.

Les régimes des durées, des intensités et des paroxysmes sont plus simples. Les durées maximales au début de l'hiver, décroissent régulièrement jusqu'en août, le minimum, puis augmentent ensuite. Par rapport aux régimes des hauteurs, le second paroxysme de printemps disparaît, notamment en Aquitaine océanique; à peine marqué en toulousain, il prend de l'ampleur en Méditerranée. Dans les régions intérieures, il peut même dépasser le maximum principal de novembre-décembre. D'autre part, minima et maxima sont décalés par rapport aux hauteurs; ainsi en Aquitaine, août est toujours le mois le moins longuement arrosé.

Les régimes des intensités et des paroxysmes, plus simples que ceux des hauteurs, sont aussi décalés; le déphasage en sens inverse de celui des durées donne un maximum au début de l'automne, en septembre, parfois même en août pour les paroxysmes brefs.

Ces variations temporelles plus ou moins complexes ont pour cause les rythmes thermiques. La saison pluvieuse d'automne, caractérisée par des pluies très intenses, a pour cause essentielle les advections chaudes; plus des deux tiers des situations-circulations de la classe 11 où dominent les trajectoires de sud et qui provoquent des pluies très copieuses, sont recensées en automne. En janvier-février, le continent refroidi n'accentue plus les ascendances; cependant les mécanismes pluviométriques persistent, les pluies peu intenses donnent de faibles totaux, mais la durée demeure grande. Au printemps, la protection thermique froide s'efface, mais lentement, et les averses de printemps, sont moins fortes qu'en automne. La multiplicité des gouttes froides en altitude, expliquent la très forte variabilité des pluies printanières. Contrairement à l'automne, plusieurs types de situations-circulations sont à l'origine de ce second maximum. Les minima d'été ont pour

cause la situation générale anticyclonique qui bloque les ascendances. Les systèmes locaux, très actifs quand la convection thermique agit, suffisent à provoquer des accidents pluviométriques brutaux, mais de faible étendue spatiale. Les exceptions à cette règle s'observent quand une vallée principale, plus souvent secondaire, se déplace de l'Atlantique vers l'est. Ces talwegs surmontent surtout l'Atlantique central, et une diffluence, qui apparaît au droit de l'Aquitaine, est un des facteurs explicatifs de l'anomalie pluviométrique positive en Aquitaine.

14-1-4 LES LOIS DE COMPOSITION

Les lois entre éléments et leur variabilité absolue et relative étant déjà énoncées, seules les relations entre les éléments simples et complexes sont reprises. Des relations unissent les divers paramètres, mais elles sont peu intenses et peu nombreuses. Les liens les plus nets, entre les hauteurs et les intensités moyennes, sont peu intéressants, car le paramètre intensité moyenne traduit mal l'intensité réelle des pluies. Les corrélations sont d'autant plus fortes que le cadre spatial est restreint; pratiquement jamais vérifiées à l'échelle des Midis, elles s'inscrivent surtout dans un cadre régional; l'installation de nouvelles stations-tests doit permettre de vérifier cette hypothèse.

A l'échelle mensuelle, la plupart des corrélations sont vérifiées pour les mois extrêmes, novembre-décembre et juillet, parfois août. Pendant les autres mois d'été et d'hiver, les coefficients de corrélation sont généralement moins élevés. Au cours des saisons intermédiaires, ils ne sont pas significatifs, attestant une grande variabilité et l'absence de loi.

Ces conclusions négatives sont encore plus valables

pour les régimes. Une relation peu intéressante unit les hauteurs et les intensités moyennes, mais les seuils de signification ne sont pas atteints quand sont corrélés les régimes des hauteurs avec ceux des durées et des intensités réelles ou même des paroxysmes. Cette absence de relation, illustration du déphasage des différents régimes, a pour cause essentielle les rythmes thermiques. Les intensités sont liées aux températures car les masses d'air chaudes contiennent plus de vapeur d'eau. Par contre, les durées sont moins dépendantes du potentiel hydrique et du bilan énergétique.

Après cette présentation des lois générales, l'intérêt est porté aux variations principales à l'échelle des domaines, avant de descendre à l'échelle régionale. Deux thèmes sont retenus, les fortes pluies d'été en Aquitaine, la durée des précipitations en Méditerranée, après le rappel de quelques caractères généraux.

14-2 LES PRECIPITATIONS A L'ECHELLE DES DOMAINES

14-2-1 ETUDE COMPARATIVE GENERALE

En Aquitaine, même en excluant le paradoxe estival, les hauteurs d'eau recueillies sont plus élevées qu'en Méditerranée; le pôle de sécheresse toulousain est nettement moins marqué que ceux du Roussillon et du bas-Rhône. De même, les durées des pluies sont plus longues quels que soient les paramètres retenus. Seules les intensités font exception, au moins en valeur relative, car les fortes intensités sont nombreuses dans tous les postes aquitains, spécialement au pied des Pyrénées occidentales.

La seconde différence fondamentale, à cette échelle, est la forte variabilité spatiale des phénomènes pluviométriques en Méditerranée. Les espaces pluviométriques plus vastes en Aquitaine, s'opposent à l'émiettement méditerranéen. Certes, la variabilité des durées est plus

faible que celle des hauteurs et des intensités, mais les variations spatiales en Méditerranée, sont toujours plus accusées qu'en Aquitaine.

Ces caractères généraux ont pour cause les fondements géographiques et aérologiques. L'Aquitaine est une marge de la zone tempérée, mais une marge ouverte; aucun relief n'empêche la pénétration des influences zonales en hiver, et surtout septentrionales en toute saison. Sur les rivages méditerranéens, seuls les mécanismes méridiens de sud, actifs aussi en Aquitaine, ne subissent pas l'effet d'abri orographique. Cet abri géographique explique à lui seul la différence entre les deux domaines; à l'échelle de l'année 40-45 situations-circulations de la classe 7 apportent en moyenne 150 mm d'eau à Bordeaux; à Nice, 2-3 situations-circulations donnent à peine 10 mm. Certes, l'essentiel des hauteurs annuelles n'est pas uniquement dû en Aquitaine aux mécanismes zonaux et de nord, mais ils suffisent pour rendre compte de l'opposition entre ces deux domaines.

L'éclatement spatial de la pluviosité sur les rivages méditerranéens est dû à la conjonction de plusieurs facteurs, le morcellement des reliefs, la formation de centres régionaux, le tracé des littoraux et les bilans énergétiques. Ces types de facteurs complexes sont d'ailleurs interdépendants; ainsi le minimum de Saint-Raphaël, d'origine hydrodynamique, est modifié par les variations thermiques. Le relief, simple écran, favorisant ou gênant les ascendances, est en outre un facteur de création de centres secondaires. Enfin, surtout en hiver, les montagnes proches du littoral dirigent des flux d'air froid qui peuvent soulever l'air chaud et de nombreux maxima pluviométriques sont ainsi installés à l'est des couloirs d'advections froides. Ces facteurs aérologiques et physiques forment un canevas sans cesse modifié, sur lequel les structures hydriques des masses d'air introduisent de nouvelles nuances.

Actuellement, la hiérarchie de tous ces éléments reste cachée, faute d'une documentation très précise permettant des méso-analyses et des bilans énergétiques précis. Il est cependant certain que les systèmes locaux-régionaux et le potentiel hydrique sont les deux facteurs, non pas déterminants des chutes, mais des hauteurs, intensités....

14-2-2 L'ETE PLUVIEUX EN AQUITAINE

La paradoxe des pluies d'été en Aquitaine, est une question très débattue dans la littérature climatique. La situation générale, la remontée de l'anticyclone dynamique des Açores vers le nord, devrait provoquer une sécheresse intense, plus intense même qu'en Méditerranée éloignée des hautes pressions et où stagne un mauvais barométrique. Or, à Bordeaux 52 mm tombent en 32 heures contre moins de 20 mm en 9 heures à Montpellier, et encore moins à Nice en juillet.

La lecture des pressions en altitude ne donne aucune solution satisfaisante : les basses pressions sont plus fréquentes en Méditerranée, au moins à l'est du Rhône. De même les fréquences relatives aux courbures cycloniques ou anticycloniques des flux ne sont pas sensiblement différentes; les diffluences sont plus nombreuses en Aquitaine, mais d'autres modèles d'explication sont plus visibles.

Déjà observée par G. Viers, la position océanique de la cellule anticyclonique est une première cause; orientée sud-nord, elle dirige un flux frais humide de nord-ouest sur sa face orientale qui rencontre et soulève l'air chaud aquitain, provoquant des pluies; elles sont fortes sur la barrière orographique des Pyrénées. Parfois, cette invasion froide, plus nette en altitude, provoque une instabilité thermodynamique supérieure caractéristique; trois jours en moyenne correspondent à

cette situation (classe 1), et donnent plus de 15 mm. Enfin, quand les flux d'ouest circulent en été, cas peu fréquent, l'anticyclone installé sur l'Atlantique a un effet de barrière, et une dépression peu creusée se forme sur l'Aquitaine, accentuée parfois par l'effet thermique.

Un second groupe de complexes explicatifs concerne les dorsales de l'anticyclone des Açores. Ces dorsales sont peu épaisses quand elles correspondent à une coulée froide, situation assez rare en été; plus fréquemment la dorsale est bien d'origine dynamique, mais en altitude, la "colonne" anticyclonique est décalée au sud. Quelle que soit la structure précise de la dorsale, elle peut donc être surmontée par une dépression. Plus souvent encore, un véritable front d'altitude, lié à un cisaillement rend compte des précipitations; ce cisaillement a pour origine le décalage des axes des dorsales aux différents niveaux.

Un troisième type de précipitations est dû à des mécanismes locaux; comme en Méditerranée, ces pluies d'étendue restreinte sont souvent brutales; l'instabilité en altitude est due à de l'air froid, parfois même à une simple diffluence, tandis qu'en surface les fortes chaleurs provoquent ou accentuent les ascendances.

Un dernier type de précipitations, le plus simple, a pour cause l'ouverture de l'Aquitaine aux influences septentrionales; des courants perturbés circulent sur les voies nord, mais leurs marges méridionales atteignent ces latitudes; l'effet thermique renforce ces marges, qui sont au contraire stabilisées en hiver. Entre ce quatrième schéma explicatif, et le premier, des types intermédiaires peuvent s'intercaler; ainsi à Bordeaux, 30 mm sont dues aux situations-circulations de la classe 7, donc septentrionales et cette classe se hisse au second rang. A Nice, ces mêmes situations-

circulations sont très exceptionnelles, sinon totalement inexistantes. L'été pluvieux aquitain a donc des origines multiples; les influences nordiques sous des formes multiples dans chaque type, constituent un facteur important, mais de l'air chaud doit stagner sur l'Aquitaine.

14-2-3 LA DUREE DES PLUIES EN MEDITERRANEE

Une des hypothèses primitives de cet ouvrage portait sur la durée des précipitations; sont-elles brèves ou durables en Méditerranée ? Quel que soit le paramètre analysé, nombre de jours, séquences ou durée précise des averses, la thèse d'E. Benevent est toujours vérifiée. La fréquence absolue des pluies durables est maximum en Aquitaine, spécialement en pays basque; les précipitations, supérieures à huit heures, sont deux fois plus nombreuses à Bordeaux qu'à Nice. L'effet de persistance ou autocorrélation temporelle est aussi plus élevé en Aquitaine, surtout à l'échelle mensuelle. L'examen des fréquences relatives apporte quelques nuances, mais les pluies de huit heures et plus n'atteignent jamais 20 %, et il est faux de prétendre que les pluies méditerranéennes sont durables. Dans toutes les stations, les averses inférieures à deux heures sont toujours majoritaires.

Le Roussillon, lieu où cette thèse est née, est caractéristique, avec des averses durables relativement plus fréquentes; cependant, elles ne constituent jamais la majorité, et en valeur absolue, leur nombre est inférieur à celui relevé dans les postes aquitains. En outre, cette originalité limitée au Roussillon, ne s'observe pas dans les autres régions méditerranéennes; les espaces du bas-Rhône ne sont nullement comparables, les pluies durables étant exceptionnelles. Toutes les lois de distribution en I traduisent donc la primauté des averses brèves.

A l'échelle mensuelle, les pluies les plus longues ne sont pas recensées en automne, quand les hauteurs sont maxima, mais en janvier-février. La thèse de J. E. Hermitte n'est donc pas vérifiée, au moins sur le littoral méditerranéen français.

Ces hypothèses, non vérifiées, reposent sur l'idée qu'en Méditerranée dominent des mécanismes méridiens, idée exacte. Les situations-circulations méridiennes correspondant à des déplacements moins rapides, doivent stagner et donc donner des pluies durables. En fait, plusieurs facteurs perturbent ce schéma général. Premièrement, les courants méridiens circulent très souvent sous des jets d'altitude qui par effet de steering accélèrent les déplacements. D'autre part, la persistance des précipitations est liée à la permanence des alimentations, spécialement des advections chaudes. Une interruption dans l'alimentation et les pluies cessent; or, les Midis méditerranéens sont souvent à la limite de ces advections chaudes, sauf en été, mais elles sont alors stables, sous une dorsale. Un troisième facteur est le caractère éphémère des centres d'action en Méditerranée. De très nombreux centres locaux et régionaux, naissent et meurent rapidement, troublant le schéma général. Comme pour les intensités et les hauteurs, l'importance primordiale des systèmes à grande échelle est la cause principale de la dissymétrie des courbes, de leur forme en I. En été, quand l'effet thermique intervient, ces centres plus nombreux et moins stables, expliquent la rareté des pluies durables. En toute saison, l'évolution diurne des centres d'action même généraux, très forte en Méditerranée, perturbe aussi la régularité des averses. Cet ensemble de facteurs modifie donc totalement les effets dus à la situation générale.

L'anomalie du Roussillon reportée dans l'analyse régionale, quelles sont les causes des durées plus longues en janvier-février et de la brièveté des averses

en Aquitaine ? A la fin de l'hiver, s'observe le maximum de situations méridiennes favorables à des pluies durables; en outre, les caractères thermiques ne constituent pas un élément perturbateur, et la relative chaleur de la Méditerranée par rapport au continent, explique sinon la permanence, du moins la plus grande stabilité des systèmes régionaux et locaux.

En Aquitaine, la brièveté des averses qui forment des ondes successives a pour cause l'organisation des vortex. Le système norvégien avec front chaud et froid n'est pas vérifié par les photos de satellites et les calculs de bilan énergétique. Le vortex est formé de lignes de discontinuité successives, la prefrontal surge, la squall line, le front et le coeur froid, le front principal.; des cellules convectives formées d'air chaud et humide s'intercalent et suivent ces discontinuités. Ce modèle de bandes nuageuses plus ou moins parallèles suivant l'âge du vortex, explique bien la succession des averses en milieu aquitain, parfois même en Méditerranée quand passent de tels systèmes. En Aquitaine, si le centre du vortex est au nord, cas très fréquent, les bandes nuageuses et pluvieuses écartées sont à l'origine de la discontinuité des averses. Une seconde théorie, non encore vérifiée en Aquitaine en l'absence de méso-analyse, explique ces bandes nuageuses par la succession de fronts de brise de mer, nés au contact du littoral et se déplaçant dans l'intérieur.

14-3 LES PRECIPITATIONS SUR LES REGIONS MERIDIONALES

Dans cette dernière partie, la spécificité de chaque province pluviométrique est recherchée en analysant les paramètres descriptifs, puis les mécanismes et les situations-circulations explicatives.

14-3-1 LE PAYS BASQUE

Le pays basque est la région méridionale la plus

arrosée; les hauteurs, supérieures au mètre, sont deux fois plus élevées que dans les régions sèches. Ces pluies abondantes ne correspondent pas à un régime original; La grande saison pluvieuse d'hiver ne dure pas plus qu'à Bordeaux, et juillet reste un mois sec. Le seul trait spécifique du régime, l'absence du minimum relatif en janvier-février, est un résultat statistique cachant les caprices printaniers.

Ces hauteurs records ne sont pas dues à des pluies durables; le nombre de jours pluvieux est élevé, mais les durées réelles en heures ne sont pas caractéristiques, même si les longues séquences pluvieuses sont plus nombreuses. Le régime des durées est plus heurté, avec de fortes durées uniquement de novembre à janvier. D'autre part, les variabilités relatives très médiocres attestent la régularité temporelle des durées.

Les hauteurs élevées sont dues à des pluies très copieuses, comme le montrent les cartes annexes; Biarritz est la seule station avec Nice, où une pluie médiane en vingt quatre heures dépasse 7,5 mm. Ce renforcement des averses est net, notamment dans l'intérieur; à Pau, les bruines ont une fréquence minimum. Inversement, le nombre de paroxysmes, d'averses brutales, souvent longues, est considérable; Biarritz est la seule station aquitaine où le seuil 80, soit huit paroxysmes par mois est atteint, en août et septembre.

Ces pluies brutales sont irrégulières, comme l'attestent les différentes analyses de variabilité; à Biarritz et Tarbes, la variabilité absolue des pluies en vingt quatre heures est la plus élevée des Midis. Si les écarts types relatifs aux durées, ne sont pas originaux, par contre la variabilité absolue des hauteurs annuelles et même mensuelles, est très forte. Les accidents pluviométriques sont donc fréquents et violents, mais ils ressortent mal dans les études pointillistes.

Le dernier caractère, la forte homogénéité du pays

basque est attestée par le très grand nombre de relations positives non pas entre les éléments, mais entre les différentes stations. Au nord cependant, la transition avec la côte d'Argent est peu marquée, mais peut-être faut-il accuser le nombre limité de stations.

Ces caractéristiques ont pour cause la conjonction de facteurs qui modifient profondément le schéma général. Le pays basque plus proche de la cellule des hautes pressions subtropicales, plus éloigné des centres dépressionnaires "tempérés" devrait être plus sec que le littoral de l'Aquitaine septentrionale. Cette inversion pluviométrique a une double origine, les massifs pyrénéens et le golfe de Gascogne. Les Pyrénées atlantiques ne sont pas assez élevées pour constituer un obstacle aux advections chaudes de sud, d'autant plus qu'elles circulent surtout en altitude. Inversement, les courants de nord, amincis et affaiblis par leur trajet sur l'Aquitaine sont réanimés par cette barrière dissymétrique. Cet effet n'est pas simple, des masses chaudes peuvent être emprisonnées par ces flux de nord et elles donnent alors des pluies brutales.

Le golfe de Gascogne, par sa forme et sa position, entraîne parfois la formation de dépressions régionales, mais le plus souvent, c'est un piège dans lequel aboutissent des dépressions des Açores, où celles qui se détachent du complexe dépressionnaire islandais. Toujours, ces centres régionaux s'effacent très lentement et ils accentuent les ascendances, notamment en dépensant leur énergie cinétique sur les contreforts montagneux. Les averses sont ainsi plus violentes.

L'analyse précise des situations-circulations montre que les circulations de sud sont les plus efficaces. Les situations-circulations de nord sont aussi très actives (classe 7), effet uniquement apparent pour les apports absolus; en valeur relative, l'activité de ces courants n'est pas caractéristique. D'autre part, ces

mécanismes régionaux donnent naissance à des situations-circulations non norvégiennes, spécialement en été; les hauteurs données par ces classes non norvégiennes sont presque trois fois plus élevées à Biarritz qu'à Bordeaux en juillet-août. L'effet des mécanismes régionaux est donc plus important que l'effet orographique sur les courants de nord, sauf au coeur de l'hiver quand les coulées froides épaisses, atteignent des latitudes très méridionales.

14-3-2 L'AQUITAINE OCEANIQUE

L'absence de toute courbe, illustrant une évolution heurtée, est le trait dominant du littoral atlantique au nord de l'Adour; Les hauteurs, encore fortes ne sont pas excessives, et leur variabilité absolue, et surtout relative, décroît régulièrement vers le nord. Les pluies diluviennes, en vingt quatre heures ou paroxysmes sont rares. Les intensités réelles fortes sont bien représentées, mais la différence avec les plaines intérieures apparaît mal. Les variabilités correspondantes attestent la régularité du fait pluviométrique dans cette région.

Les durées sont très élevées en décembre, plus de cent vingt cinq heures à Bordeaux et Cazaux, record pour l'ensemble des Midis. En outre, malgré la séparation en classe, le déphasage du régime des durées en janvier-février est perceptible sur les cartes annexes. Le climat du bordelais est donc très humide, par la longueur des précipitations.

Troisième caractère, la régularité des ondées qui déferlent par vagues; ces observations visuelles accomplies sur le terrain ont été confirmées par l'analyse statistique des types de durées; il pleut plusieurs fois par jour, à l'intérieur d'une même perturbation. Cette anomalie a pour cause les bandes nuageuses étirées des

vortex, qui tendent à s'espacer sur les marges méridionales; ces bandes correspondantes à des langues chaudes et humides, associées à des discontinuités internes, apparaissent nettement sur les photos de satellite. Le modèle norvégien, même quand il paraît non caduque est trop grossier. Dans les plaines intérieures, ces vagues disparaissent, les effets de frottement provoquant l'agglomération de ces cellules; parfois des successions semblables sont encore observées à Toulouse.

Un dernier trait, spatial, est l'originalité constante du bassin d'Arcachon; les cartes annexes et les tableaux parsemés dans cet ouvrage, démontrent l'indigence des hauteurs; cette dépression plus sèche a pour cause essentielle la faiblesse des intensités, la très grande rareté des paroxysmes, alors que la durée ne présente pas d'écart net par rapport au bordelais. Des observations effectuées sur place tendent à mettre en parallèle les déplacements marins et les vents locaux et régionaux, mais il est impossible d'apporter une solution vérifiée, faute de cartes de méso-analyse. Il est d'ailleurs possible d'ajouter une cause plus générale; au sud, les reliefs et centres régionaux provoquent une recrudescence des pluies; au nord, les mécanismes septentrionaux de la zone tempérée sévissent encore, même faiblement, mais plus au sud, ils s'effacent plus ou moins complètement, créant cette anomalie négative du bassin d'Arcachon.

L'absence de courbes heurtées a pour cause cette situation marginale, par rapport aux courants méridiens, les plus actifs dans les Midis; les flux perturbés de nord et de sud, dégénérés après de longs trajets, ne sont revigorés par aucun relief, ni aucun centre régional, sauf exception, et ils provoquent donc des pluies fines. La présence de gouttes froides en altitude contournées par des advections chaudes de sud-est (classe 11), quelques perturbations dont le point double ou triple

passé sur l'Aquitaine sont les seuls mécanismes violents qui troublent la monotonie pluviométrique.

14-3-3 L'AQUITAINE CENTRALE

L'Aquitaine centrale est une des régions les plus originales, et seules les caractéristiques importantes sont analysées (4). Le régime des hauteurs est complexe; un premier maximum, en mai-juin, fait suite à un printemps peu arrosé; en juillet, la sécheresse sévit, mais dès la mi-août une seconde saison pluvieuse s'installe jusqu'à la fin septembre; elle est séparée des forts totaux d'automne-hiver, par un minimum d'octobre, non exceptionnel, très net dans de nombreuses stations, notamment à Toulouse. Ce régime présente une grande variabilité temporelle si un découpage a priori est donné, bimensuel ou trimestriel; mais en réalité, les écarts types et les coefficients de variation mensuels, très faibles, attestent une régularité remarquable. Comme dans toutes les régions, des accidents surviennent, mais peu intenses, ils sont aussi peu fréquents.

Second caractère, la faible intensité des averses, qui est contraire à des idées largement répandues; la hauteur médiane en vingt quatre heures ne dépasse jamais 4,5 mm. La fréquence relative des bruines augmente fortement par rapport au littoral, même si en valeur absolue ces pluies sont plus nombreuses à Bordeaux. Les paroxysmes sont exceptionnels comme l'attestent toutes les figures, même en été où jamais plus de quatre excès ne sont recensés. La très forte variabilité de ces accidents, souligne les énormes différences interannuelles, spécialement celles des paroxysmes brefs.

Les durées ne sont pas particulièrement brèves; la concentration des jours pluvieux est nette, mais les

(4) Le lecteur se rapportera aux différents chapitres.

durées réelles ne distinguent nullement cette région. En outre, le maximum de mai-juin, pour les hauteurs, n'apparaît pas sur les courbes durées; le maximum de décembre janvier rapproche l'intérieur du littoral atlantique. A l'échelle des averses, le premier rang n'est pas occupé par les pluies très brèves, mais par les précipitations durant de une à quatre heures, seule exception dans les Midis. Enfin, les averses les plus durables sont les plus variables en valeur absolue et relative.

L'essentiel des caractères pluviométriques a pour cause l'effet "continental"; il modifie les différentes situations-circulations. Ces effets sont généralement médiocres dans d'autres régions; mais en Aquitaine centrale, la position marginale et le caractère plus ou moins dégénéré des situations-circulations ont pour conséquence le renforcement des effets géographiques. Un continent refroidi en hiver, ne parvient pas à "stabiliser" les masses d'air au centre d'une perturbation; mais une marge méridionale, l'extrémité d'un front, "situations de transition", peuvent être radicalement modifiées.

Le maximum de mai-juin illustre bien cette règle. Le renforcement des pluies est dû uniquement aux situations-circulations des classes 2 et 10; dans les deux cas, aucun front ne traverse l'Aquitaine. La classe 10 correspond souvent à des traines de perturbation d'ouest, où circulent des flux de nord ou de sud sous une situation d'altitude imparfaitement anticyclonique. Le réchauffement est suffisant pour réactiver les traines, donnant des averses éparses très caractéristiques. Il est fort probable qu'octobre représente le schéma anti-symétrique, le refroidissement étant suffisant pour bloquer les systèmes marginaux. L'effet continental peu puissant en lui-même, suffit à modifier les situations-circulations anémiées, qui arrivent en fin de course.

Parfois ces variations essentiellement thermiques, donnent naissance à des centres locaux; superficiels, ils sont plus rares et moins efficaces que dans le pays basque.

Un second facteur est l'encadrement montagnard qui a essentiellement un rôle protecteur, notamment les Pyrénées loin au sud du pays toulousain. Les courants de sud, même les plus efficaces, sont partiellement gommés par cette chaîne; en mai-juin, les situations-circulations de la classe 11, efficaces à Biarritz et Bordeaux, où ils fournissent plus de 25 % des apports, donnent moins de 10 % des hauteurs à Toulouse. Inversement, les courants d'ouest, de nord ne déversent pas plus d'eau; prisonniers du rentrant toulousain, ils stagnent avant de mourir ou de s'échapper par le seuil de Naurouze; en outre, très souvent le front froid rattrape le front chaud, dans le modèle norvégien, les langues chaudes et humides se télescopent dans le modèle du vortex à cause du freinage des systèmes. Ces ensembles de relations expliquent qu'aux vagues pluvieuses observées sur le littoral, succèdent des précipitations moins régulières, mais plus durables. Ce ralentissement est la cause essentielle de l'augmentation des durées, sans modification des hauteurs. Les accidents correspondent à des systèmes jeunes, très rares à ces latitudes, ou à des systèmes locaux, plus fréquents, mais donnant des paroxysmes limités dans le temps, dans l'espace, et en intensité.

14-3-4 LE ROUSSILLON

La région du Roussillon a de nombreux caractères originaux, mais la variabilité spatiale du fait pluvieux maximum, conduit à la prudence; avec une ou deux stations-tests, il est difficile d'être complet. La mésaventure de G. Viers, extrapolant à l'ensemble méditerranéen un fait local, doit être méditée.

Les hauteurs sont l'élément le moins caractéristique, le régime est méditerranéen avec les deux maxima d'automne et de printemps. Cependant, la grande saison pluvieuse se prolonge en janvier, comme en Aquitaine, et le minimum de février est à peine perceptible; le régime méditerranéen n'est donc pas franc. D'autre part, les variabilités spatiale et temporelle sont maxima; nulle part ailleurs, les accidents ne sont autant à craindre.

Troisième trait, la longueur des averses; les pluies très brèves sont les plus fréquentes, mais les averses durables, moins nombreuses qu'en Aquitaine, ont cependant des fréquences relatives élevées, près de 20 %. En outre, à l'opposé des autres régions méditerranéennes, les longues pluies ne sont pas caractéristiques de janvier février, mois où une accalmie s'observe.

Ce renforcement des extrêmes caractérise aussi les intensités; les pluies très fines sont relativement très nombreuses, et la hauteur médiane en vingt quatre heures dépasse 4,5 mm uniquement en août. Cependant, les paroxysmes sont plus fréquents qu'en toulousain. Ces accidents sont très particuliers, les plus fréquents n'étant pas du tout les plus brefs, mais ceux de durée moyenne. Sans jamais pouvoir parler de séries bimodales, tous les caractères du complexe pluviométrique, présentent cependant un renforcement des extrêmes, témoignage de la position de transition de cette région entre l'Aquitaine centrale et le monde méditerranéen.

Cette transition n'est pas seulement spatiale; elle reflète aussi la conjonction de mécanismes totalement différents. En Aquitaine, les systèmes régionaux et locaux perturbent les systèmes à petite échelle; le Roussillon est en marge de ces mécanismes zonaux, des grandes dépressions atlantiques ou de l'anticyclone des Açores; en outre, il est protégé par un amphithéâtre

montagneux; les influences aquitaines, nombreuses, sont donc totalement dégénérées par l'effet de distance et plus encore l'abri orographique expliquant ainsi l'importance des classes des infiniments petits, brèves durées, bruines, hauteurs insignifiantes.

Sur ce premier ensemble, très marginal, se greffent les petites dépressions des Baléares, et plus souvent régionales et locales; nées sous le vent des reliefs, elles sont dynamiques. Pénétrant en Roussillon, généralement par l'est, elles sont emprisonnées, et dépensent alors toute leur énergie cinétique sur place. Ces systèmes régionaux et locaux bloqués donnent donc des pluies très intenses, très longues, les dépressions stagnant sur place. La faible ampleur spatiale de ces systèmes, le morcellement du relief pyrénéen expliquent la très grande variabilité spatiale, et la nécessité des méso-analyses.

L'étude succincte de quelques types de situations-circulations confirme cette interprétation. La classe 7, où dominent les trajectoires de nord, fortement représentée en Aquitaine, 25 % à Toulouse, demeure fréquente en Roussillon, 16 % à Perpignan, mais inexistante à Nice, 2 %. Ces situations-circulations, relativement fréquentes comme en Aquitaine, donnent des apports très faibles, moins de 5 %, comme en Méditerranée, l'effet d'abri intervenant. Seconde preuve, la part relativement grande des situations-circulations non norvégienues qui correspondent essentiellement à des dépressions régionales et locales, même si une goutte froide active en altitude, accentue brutalement les ascendances. Troisièmement, les situations-circulations de la classe 11, majoritaires sur les rivages méditerranéens n'arrivent qu'au quatrième rang en Roussillon.

Des variations saisonnières troublent ces moyennes annuelles; en été, le Roussillon est une province méditerranéenne, mais en janvier-février, les fréquences

des douze classes le rapprochent du toulousain, expliquant la rareté des pluies durables qui sévissent ailleurs en Méditerranée; l'automne est plus méditerranéen que le printemps pluvieux, débordant parfois en mai. Ces variations saisonnières sont à relier à l'importance des systèmes régionaux, plus fréquents en automne, quand le bilan énergétique favorable complète les mécanismes dynamiques.

14-3-5 LE BAS-RHÔNE

Le bas-Rhône est une région sèche avec des hauteurs annuelles et mensuelles très faibles. D'autre part, le régime des hauteurs est typiquement méditerranéen, sauf sur le littoral; le minimum de janvier-février apparaît nettement. Enfin, par rapport au Roussillon, la saison des pluies commence bien en septembre, mais elle s'achève dès la fin décembre.

Les durées faibles, augmentent rapidement dans l'intérieur; les ondées brèves sont très nombreuses, comme en Roussillon, mais les pluies durables sont très rares. Les pluies s'éternisant au-delà de vingt quatre heures sont de véritables accidents. Aucune durée mensuelle supérieure à 50 heures, confirme la brièveté du fait pluvieux.

Les intensités ne présentent pas de grande originalité; les pluies fines sont toujours les plus nombreuses, notamment en janvier-février. Les paroxysmes, fréquents au début de l'été et en automne, particulièrement en novembre, ont une très grande irrégularité temporelle et spatiale.

Les mécanismes pluviométriques dominants sont centrés dans le golfe de Gênes, et le bas-Rhône est donc marginal. Cet effet est traduit par des fréquences relatives moindres des situations-circulations avec flux de

sud-est, tandis que les mécanismes pluvieux de sud-ouest sont plus fréquents qu'à Nice.

Sur cette marge climatique, le couloir rhodanien en entonnoir, provoque de nombreuses modifications. Toutes les situations-circulations où prédominent des trajectoires de nord, d'ouest et même d'est subissent des effets de foehn, et donnent des pluies médiocres. Inversement, les classes à trajectoires de sud donnent plus de 80 % des ondées. Les mécanismes régionaux et locaux sont moins efficaces pour transformer les grands flux canalisés et violents. Au coeur des basses terres en Camargue, les reliefs sont trop éloignés pour favoriser les ascendances par flux de sud, et les paroxysmes sont donc très rares, souvent causés par des mécanismes purement dynamiques. L'effet de couloir est donc renforcé par l'éloignement vis-à-vis des centres directeurs.

14-3-6 LA CÔTE-D'AZUR

La côte-d'Azur, contrairement à ce que laissent supposer les dépliants touristiques, est le littoral méditerranéen le plus arrosé; mais ces hauteurs importantes sont très concentrées sur un petit nombre de jours, et même les saisons pluvieuses sont brèves. Le rythme méditerranéen est caractéristique, avec un été très sec et une saison très pluvieuse d'octobre à décembre, du moins sur le littoral. Septembre, mois de transition est souvent un prolongement de l'été, de même que mai se rapproche de la sécheresse estivale.

Si le nombre de jours pluvieux est limité, les heures de pluies sont nombreuses, plus de 600, et le comté de Nice ne semble nullement privilégié. En outre, le creux de janvier-février apparaît mal sur la courbe des durées. Cependant, les séquences pluvieuses sont brèves, et les pluies durables, plus fréquentes que dans le bas-Rhône, restent plus rares qu'en Roussillon.

Sur la côte-d'Azur, les pluies finès sont toujours les plus fréquentes, mais les averses intenses ne sont pas absentes. Nice présente les intensités médianes annuelles maximales. A l'échelle mensuelle, cette augmentation globale des intensités est moins caractéristique, mais cette primauté s'observe à nouveau pour les paroxysmes. Les hauteurs importantes recueillies dans les stations azuréennes ont donc pour cause l'intensité relativement forte des averses, guère nombreuses.

Dernier caractère spécifique de cette région, les variabilités absolues temporelles et spatiales sont maxima. Les variabilités absolues temporelles, directement proportionnelles à l'ampleur des différents paramètres, ne sont donc pas originales. Par contre, la variabilité spatiale est une des plus élevée, après celle du Roussillon; des hauteurs moyennes annuelles présentent des écarts supérieurs à 150 mm au sein même de l'agglomération niçoise.

Trois facteurs principaux expliquent ces distributions. La côte-d'Azur est proche du golfe de Gênes où la dépression ligurienne est, sinon constante, du moins très fréquente. Ce minimum par sa taille, son intensité, et sa permanence correspond à un système intermédiaire entre la dépression d'Islande et le centre des Baléares. Il dirige des flux d'est sud-est chauds qui donnent l'essentiel des précipitations.

Le second élément, le relief a un rôle non moins important; plus élevé que la Cévenne, il constitue un abri protecteur total. La classe 7 donne plus de 20 % des hauteurs d'eau en Aquitaine, mais moins de 1 % à Nice. Cet abri agit non seulement sur les courants de nord, mais aussi sur les trajectoires d'ouest déviées ou modifiées par l'avancée de l'Estérel. Inversement, les situations-circulations méridiennes de sud et sud-est, sont transformées par cette barrière élevée au contact même du littoral. L'ascendance dynamique est accentuée

par l'effet orographique, donnant des averses intenses. Ces reliefs orientés nord-sud, perpendiculaires au littoral, découpent le paysage en blocs multiples; ce morcellement est une des causes importantes de la variabilité de tous les éléments pluviométriques.

Dernier élément, la persistance, spécialement en hiver, de centres secondaires, essentiellement dépressionnaires. Ces centres ont une double origine, dynamique par l'intrusion de coulées froides descendant des vallées et bifurquant sur la côte, et thermique par la différence entre le milieu marin chaud, et l'intérieur froid. Ces centres accentuent l'intensité des averses, ou bloquent plus rarement les ascendances par autorégulation négative. Leur taille restreinte, leur évolution diurne et leur déplacement constituent des facteurs de variabilités spatiales, qui ne sont pas simplement calquées sur les reliefs.

14-3-7 LANGUEDOC ET CÔTE VAROISE, DEUX TRANSITIONS

Languedoc et côte varoise sont deux régions de transition; comme le montrent les cartes annexes, le Languedoc ressemble au Roussillon, et la côte varoise à la côte d'Azur. L'exemple des paroxysmes est démonstratif, ils sont maxima en octobre à Nîmes, Montpellier, et Perpignan, et seulement en novembre, à Marignane, Toulon et Nice. Cette transition est plus graduée à l'ouest du Rhône; entre région varoise et comté de Nice, la rupture est plus brutale, bien que des caractères communs persistent.

En Languedoc, les mécanismes provoquant des pluies en Aquitaine n'agissent plus, sauf exception; d'autre part, les formes géographiques ne créent pas un isolat comparable au Roussillon; au contraire, les plateaux étagés, face au sud sud-est, sont largement ouverts. Aucun système n'est propre au Languedoc, entraînant l'absence de formation d'une région homogène et typique.

L'ouverture au sud, explique la naissance et l'arrivée de tours convectives à l'origine des pluies abondantes d'été, quand d'autres facteurs dynamiques ou thermodynamiques sont présents.

La côte varoise représente un second type de transition; elle est marginale par rapport au minimum de Gênes qui commande le climat de la côte-d'Azur. Cet éloignement est accentué par le changement d'orientation du littoral, la barrière montagneuse de l'Estérel-Tanneron; enfin un minimum, déjà décrit par nos devanciers, stagne au droit de Saint-Raphaël. Ces trois facteurs, situés à peu près sur le même espace, entraînent une rupture plus nette : côte varoise et côte d'Azur sont ainsi deux régions pluviométriques différentes, surtout pendant les saisons intermédiaires.

14-4 LES LIMITES PLUVIOMETRIQUES

Dans le chapitre trois, les limites intra-méridionales décrites ne sont pas zonales, mais méridiennes. Les analyses précédentes expliquent le tracé nord-sud de ces discontinuités, même en Aquitaine. Les influences des systèmes zonaux, sont pratiquement inexistantes à l'échelle des averses, et leur rôle est modéré sur les moyennes, même si l'index de circulation zonale est un paramètre incomplet. L'orientation des reliefs et plus encore le morcellement des mécanismes rendent compte des limites méridiennes.

Les analyses multidimensionnelles, spécialement discriminantes, ont permis de préciser l'intensité des seuils. Pour définir leur nature, les deux critères, origine dynamique et origine géographique donnent quatre solutions, dynamique et géographique, dynamique, géographique, et non dynamique - non géographique; cette dernière solution logique n'est évidemment pas représentée dans la réalité. Les limites uniquement dyna-

miques sont exceptionnelles, témoignant ainsi du rôle principal du substratum géographique. Le seul exemple sépare les deux Midis; cette limite coupe les reliefs sans en tenir compte, mais ses variations saisonnières sont moins purement dynamiques, règle encore plus vraie pour les différentes situations-circulations. Les mêmes situations-circulations de la classe douze donnent des pluies sur l'Aquitaine et le Roussillon, mais les effets géographiques modifient les situations-circulations de la classe 7.

Les limites nettes ont toutes une double origine dynamique et géographique. L'environnement géographique, notamment le relief devient tyrannique; combiné aux systèmes régionaux, il perturbe les mécanismes généraux, modifie toutes les situations-circulations, sauf celles de la classe 11 généralisées sur l'ensemble des Midis. La présence de multiples centres régionaux, les ruptures dans le tracé du littoral, la forme, l'ampleur, l'altitude des reliefs forment des complexes qui expliquent la netteté des limites, spécialement en Méditerranée.

CONCLUSION

Ce dernier chapitre, analyse idiographique, complète les études nomothétiques précédentes. Ayant pour objet la recherche des spécificités, au moins dans ses dernières parties, aucune conclusion généralisante n'est dressée.

C O N C L U S I O N

Le scientifique, quels que soient ses souhaits et désirs, se heurte toujours à des limites. Nous essayons de rappeler ces contraintes, et de mentionner les futures voies de la recherche climatologique.

Deux types de limites, qui ont pesé sur ce travail, vont rapidement reculer. Premièrement, les séries statistiques, encore trop brèves à l'aube de nos travaux, se sont considérablement allongées. Ainsi en 1975, des durées mensuelles seront disponibles sur vingt ans, et pour la plupart des stations dix ans de paroxysmes permettront de vérifier les extrapolations faites dans cette thèse à partir de cinq années de données. Ces vérifications constitueront la meilleure preuve de la validité ou au contraire de la pauvreté de nos conclusions.

D'autre part, trop souvent, il fut impossible de travailler à l'échelle régionale, les stations-tests n'étant pas assez nombreuses. De tels travaux sont, si non possibles dans le proche immédiat, du moins probables dans un avenir peu lointain. Les différents modèles de régression linéaire ou curvilinéaire doivent permettre la reconstitution des séries; une ou deux installations anciennes et quelques données dans de nouveaux postes suffisent pour recréer des séries entières.

Le problème essentiel des dix années à venir, est sans doute inverse : dominer la masse d'information. Les satellites, de plus en plus perfectionnés, sont une source d'information énorme; ainsi, les nouveaux géostationnaires envoient une photo toutes les trente minutes. De nombreux problèmes soulevés dans cette thèse seront demain solubles, et ce n'est pas sans regret que nous avons pu admirer une carte précise des températures

de l'air, de la mer et de la terre, quand nous réédifions cette conclusion, alors que le bilan énergétique a un très grand rôle sur les précipitations. Ces nouvelles données vont s'intégrer dans de nouveaux modèles de bilans de moments et énergétiques au pouvoir explicatif très élevé.

Les changements les plus importants apportés par les satellites concernent l'étude des types de circulation; de nombreuses variables nouvelles seront disponibles, mais surtout elles sont recueillies sans tenir compte des modèles classiques, notamment du modèle norvégien. Certes, rien n'est résolu, et les formes reconnues sont actuellement empiriques; l'étude objective des formes constitue sans doute un projet ambitieux, mais la maîtrise des climats ou du moins la prévision en dépend.

La seconde limite, reculée chaque jour, est celle des techniques de traitement. Il suffit d'imaginer qu'en 1972, ce travail étant déjà bien engagé, aucun algorithme de classification ne permettait de traiter plus de 1 000 cas. Chaque jour de nouveaux modèles mathématiques sont livrés et la capacité des ordinateurs grandit au même rythme. Ainsi, depuis deux mois un algorithme factoriel permet de mélanger des données d'échelles différentes, cardinale, ordinale, nominale. La perte d'information acceptée dans cet ouvrage pour l'analyse des structures des situations-circulations n'est pas obligatoire; il est possible de traiter dans une même analyse la présence ou l'absence d'un front, valeur nominale, et la pression indiquée en valeur absolue, donc cardinale. Contrairement à des idées largement répandues la révolution mathématique-informatique ne fait que débiter. La pauvreté des techniques disponibles, leur inadéquation partielle aux systèmes spatiaux est un handicap passager, même s'il semble important.

Des données nouvelles, des techniques plus efficaces, que va-t-il demeurer de cette thèse ? Des passages originaux sur la répartition des durées, des paroxysmes, des régimes des hauteurs, et de leur variabilité. Plus que ces connaissances cette thèse marque une rupture méthodologique; quelles que soient les nouvelles données, la méthode systémique par son pouvoir heuristique représente une double rupture, le passage d'une analyse unidimensionnelle à la synthèse multidimensionnelle, et le passage de la phase empirique à la phase inductive.

Il est bien évident que le passage à la phase inductive n'est possible qu'après la multiplication des études empiriques; dans certaines zones, par exemple tropicale, le nombre de recherches empiriques est peut-être encore trop modeste pour passer à cette seconde phase, du moins en climatologie dite synoptique.

Dans dix ans, le chercheur disposera de paramètres directs pour mesurer les ascendances, le potentiel hydrique et le bilan énergétique à plusieurs niveaux. Cet ensemble de variables et certaines utilisées dans cette thèse constitueront de nouveaux complexes. Les deux démarches, classification - analyse de structure, donneront sans aucun doute des résultats plus fins, sans que la trame introductive que nous avons présentée soit totalement remplacée. Cependant, les résultats de l'analyse prédictive seront directement utilisables; les précipitations à l'échelle synoptique feront l'objet de prédictions sûres.

B I B L I O G R A P H I E S E L E C T I V E

A- Seuls les ouvrages cités dans le texte sont indiqués dans cette première bibliographie.

1 - Méthodologie générale et techniques quantitatives

- 1 ABLER R. , ADAMS J.S., GOULD P.
Spatial organization, Englewood cliffs, Prentice Hall, 1971, 587 p.
- 2 BACHELARD G.
Le nouvel esprit scientifique, Paris, P.U.F., 1971, 183 p.
- 3 BEAUJEU-GARNIER J.
La géographie : méthodes et perspectives, Paris, Masson, 1971, 141 p.
- 4 BENEZE G.
La méthode expérimentale, Paris, P.U.F. 1967, 120 p.
- 5 BENZECRI J.P. et collaborateurs
L'analyse des données, T. 1 La Taxinomie, Paris, Dunod, 1973, 615 p.
- 6 BENZECRI J.P. et collaborateurs
L'analyse des données, T. 2 L'analyse des correspondances, Paris, Dunod, 1973, 624 p.
- 7 Biomedical computer programs (Dixon W.J. éditeur), Berkeley, university of California press, 1971 600 p.

- 8 BRUNET R.
 Les phénomènes de discontinuité en géographie,
 Centre de recherches et de documentation cartogra-
 phique et géographique, Mémoires et documents 1967
 Vol. 7 117 p.

- 9 DIDAY E.
 Optimisation en classification automatique et re-
 connaissance des formes, Revue française d'automa-
 tique, Informatique et Recherche opérationnelle,
 novembre 1972, p 61-96.

- 10 FERRIER J.P.
 L'espace, l'aménagement et la géographie, l'Espace
 géographique, 2 - 1973 p 143-166.

- 11 GEORGE P.
 Les méthodes de la géographie, Paris, P.U.F. 1970
 126 p.

- 12 HEMPEL C.G.
 Eléments d'épistémologie, Paris, A. Colin 1972
 184 p.

- 13 HORN L.H. , BRYSON R.A.
 Harmonic analysis of the annual march of precipi-
 tation over the united states, Annals Association
 American geographers, 2-1960 p 157-171.

- 14 KING L.J.
 Statistical analysis in geography, New Jersey,
 Prentice Hall, 1969 288 p.

- 15 KIVELIOVITCH M. et VIALAR J.
 Etude statistique des séries chronologiques, Journal
 scientifique de la Météorologie, Vol. V-7, V-18,
 V-19, V-20... VII-27.

- 16 LEBART L. et FENELON J.P.
Statistique et informatique appliquée, Paris, Dunod 1971 420 p.
- 17 LECLERC R.
Traité de la méthode scientifique, Paris, 1964 226 p.
- 18 LE ROY E.
Un positivisme nouveau, Revue de métaphysique et de morale, 1- 1901 p 143.
- 19 MEYNIER A.
Histoire de la pensée géographique en France, Paris, P.U.F. , 1969 224 p.
- 20 PAGNEY P. et PEGUY Ch. P.
Climatologie : deux perspectives, Montréal, Recherches géographiques en France, 1972 p 135-144.
- 21 PRIOGINE J.
Etude thermodynamique des phénomènes irréversibles, Paris, Dunod, 1947 218 p.
- 22 RACINE J.B.
Un type nord-Américain d'expansion métropolitaine : la couronne urbaine du grand Montréal, thèse d'Etat, Nice 1972 1 103 p.
- 23 RACINE J.B. et LEMAY G.
L'analyse discriminante des correspondances typologiques dans l'espace géographique, L'espace géographique, 3-1972 p 145-166.

- 24 TOULMIN S.
L'explication scientifique, Paris, A. Colin, 1973
135 p.
- 25 TRICART J.
Principes et méthodes de la géomorphologie, Paris
Masson 1965 496 p.
- 26 ULLMO J.
La pensée scientifique moderne, Paris, Flammarion,
1969 315 p.
- 27 VIALAR J.
Calcul des probabilités et statistiques, Paris,
O.N.M. 1968, 5 Vol.
- 28 VIRIEUX-REYMOND A.
Introduction à l'épistémologie, Paris, P.U.F.
1972 146 p.
- 29 WEISS L.
Ratio on true to fixed interval maximum rainfall,
Journal of the hydraulics division, 1-1964
p 77-82.

2 Ouvrages articles généraux

- 30 ATKINSON B.W.
La météorologie, Paris, Larousse, 1968, 188 p.
- 31 BARRETT E.C.
Viewing weather from space, Londres, Longmans,
1967, 140 p.

- 32 BARRY R.G. , CHORLEY R.J.
Atmosphere, weather and climate, Londres,
Methuen, 1968, 319 p.
- 33 BARRY R.G. , PERRY A.H.
Synoptic climatology, methods and applications,
Londres, Methuen, 1973, 555 p.
- 34 BERNADET P.
Indices et profils de circulation, N.I.T. sec-
tion VI, Pièce n°10, 19 p.
- 35 BERNADET P.
Remarques sur une théorie de la circulation géné-
rale, essai d'application à la prévision saison-
nière (été), N.I.T. section VI, pièce n°9, 28 p.
- 36 BESANCENOT J.P.
Recherches de bioclimatologie humaine dans les
petites-Antilles et en façade Guyano-Amazonienne,
thèse des 3 ème cycle, Besançon, 1972 254 p.
- 37 BIROT P.
Précis de géographie physique générale, Paris,
Colin, 1959, 403 p.
- 38 BLUTHGEN J.
Allgemeine klimageographie, Berlin 1964 599 p.
- 39 BOLIN B.
On the influence of the earth's orography on the
general characteristics of the westerlies, Tellus,
Vol. 2, 1950 p 184-195.

- 40 BONACINA L.C.W.
Geographical differentiation and the genesis of weather types, weather, 6-1951 p 79-80.
- 41 BONTROND E.A.
La durée des précipitations, La météorologie, 1958, p 245-262.
- 42 CADEZ M.
Sur une classification des types de temps, La Météorologie 1957 p 317-323.
- 43 DADY G.
Météorologie dynamique et prévision numérique Paris, Météorologie Nationale 1969, 394 p.
- 44 DETTWILLER J.
Evolution séculaire du climat de Paris, influence de l'urbanisation, Paris, Mémorial O.N.M. 1970 81 p.
- 45 DUBAND D.
Reconnaissance dynamique de la forme des situations météorologiques. Application à la prévision quantitative des précipitations, Grenoble 1971, 7 p.
- 46 DUBIEF T.
Le climat du Sahara, T. 2 Alger 1963 275 p.
- 47 DURAND-DASTES F.
Géographie des airs, Paris, P.U.F. , 1969 274 p.

- 48 ESTIENNE P.
Pour une conception géographique du climat, Re-
vue de géographie alpine, 3- 1951, p 331-343.
- 49 ESTIENNE P. , GODARD A.
Climatologie, Paris, A. Colin 1970 365 p.
- 50 FLOHN H.
Le temps et le climat, Paris, Hachette 1968
253 p.
- 51 GAZZOLA A.
Premiers résultats de l'analyse des précipita-
tions en Italie en relation avec les situations
météorologiques. Rivi. Met. Aer., Rome, 1969
p 84-114
- 52 GIBERT J.
Simple causerie sur la notion de climat, Mélan-
ges offerts à Zimmermann, Lyon 1949, p 19-28.
- 53 GOLD E.
Aids to forecasting : types of pressure distri-
bution with notes and tables for the fourteen
years 1905-1918. Geophys, Memo Londres, 1920,
p 149-174.
- 54 GRISOLLET H. , GUILMET B. et ARLERY R.
Climatologie, Méthodes et pratiques, Paris Gau-
thier-Villars, 1962 401p.
- 55 HUETZ DE LEMPS A.
Le climat des îles Canaries, Paris, S.E.D.E.S.
1969, 224 p.

- 56 LACOMBE H.
Cours d'océanographie physique, Paris, Gauthier-Villars 1971 464 p.
- 57 PAGNEY P.
La climatologie, Paris, P.U.F. 1973 126 p.
- 58 PAGNEY P.
Le climat des Antilles, Paris, 1966 2 Vol.
377 p + 304 fig.
- 59 PARDE M.
Le livre de M. Pierre Estienne sur le climat du Massif Central, Revue de géographie alpine, 3-1957 , p 203-212.
- 60 PEDELABORDE P.
Le climat du bassin parisien, Paris, Genin 1957
539 p + 116 fig.
- 61 PEDELABORDE P.
Introduction à l'étude scientifique du climat, Paris, S.E.D.E.S., 1970 246 p.
- 62 PEDELABORDE P.
La circulation atmosphérique sur les Pyrénées françaises, Paris, C.D.U. 1959 57 p.
- 63 PEDELABORDE P.
La thermoconvection, Revue de géographie des Pyrénées et du sud-ouest, 2-1958 p 121-134.
- 64 PEDELABORDE P.
Chronique météorologique, Annales de géographie, 5-1970, p 598-615.

- 65 PEGUY Ch. P.
Précis de climatologie, Paris, Masson 1970
468 p.
- 66 PEGUY Ch. P. et MOUNIER J.
Une méthode de recherche climatique : l'analyse
fréquentielle des précipitations tombées en
24 heures, Annales de géographie, 6-1968
p 711-720.
- 67 PEGUY Ch. P. et DE SAINTIGNON M.F.
L'information climatique en France, Annales de
géographie, 1971 p 657-672.
- 68 PONE R.
Cours de prévision du S.M.M.A. ; les masses
d'air, Paris, O.N.M. 1954 74 p.
- 69 PRUDHOMME A.
L'index de circulation zonale, N.I.T. section VI,
pièce n° 1, 7 p.
- 70 REY P.
Essai de phytocinétique biogéographique, C.N.R.S.
1964 68 p.
- 71 SAINTIGNON M.F.
La sécheresse d'octobre 1969 dans les Alpes fran-
çaises. Revue de géographie alpine 1971.
- 72 SCHÜEPF M.
Die klassifikation der witterungslagen
Geof. pura e Appl. 1959 p 242-248.

- 73 SERRA L.
L'interprétation des mesures pluviométriques, lois de pluviosité, la houille blanche, 1968 p 1-25.
- 74 STRINGER E.T.
Foundations of climatology, San Francisco, Freeman, 1972 566 p.
- 75 SVERDRUP H.U.
Oceanography for meteorologists, Londres, 1956 246 p.
- 76 SWAYER J.S.
Meteorological analysis : a challenge for the future, quaterly journal Royal Meteorological Society, 3-1964 , p 227-247.
- 77 TRIPLET J.P. et ROCHE G.
Météorologie générale, Paris, O.N.M. 1971 317 p.
- 78 UNESCO / WMO
Les changements de climat, Actes du colloque de Rome, Belgique, 1963 488 p.
- 79 VAN BEBBER W.J.
TYpische Witterungs-Erscheinungen, Hambourg 1882 45 p.
- 80 VIERS G.
Eléments de climatologie, Paris, Nathan, 1968 224 p.

3 -Climatologie : régions méditerranéennes et Aquitaine

- 81 ANGOT A.
Etude sur le climat de la France. Régimes des pluies, Annales de géographie 1917-18 - 1920-21.
- 82 BASSET TERRUSSE A.
Les retours d'est sur la Côte-d'Azur, N.I.T. section VII pièce n°19, 19 p.
- 83 BENEVENT E.
La pluviosité de la France du sud-est. Travaux de l'Institut de géographie alpine, tome 1, 1913, p 323-442.
- 84 BENEVENT E.
Le climat des Alpes françaises, Paris, Mémorial O.N.M. n° 14, 1926, 435 p.
- 85 BENEVENT E.
Le régime des pluies en basse Provence d'après deux périodes successives de trente ans, Mélanges offerts en hommage à D. FAUCHER, p 93-101.
- 86 BERANGER M.
Essai d'études météorologiques du bassin méditerranéen, Paris, Mémorial O.N.M. n° 40 1955, 41 p.
- 87 BERTHAUD E.
Maxima et minima pluviométriques en France, Revue de géographie de Lyon, 1-1949, p 7-36.
- 88 BERNARDI H.
Les pluies d'été dans les Alpes Maritimes, Mémoire de maîtrise, Nice 1973 128 p.

- 89 BIROT P.
La Méditerranée et le Moyen Orient, T.1, Paris,
P.U.F. p 45-65.
- 90 BLEEKERS éditeur,
The UNESCO / WMO seminar on Mediterranean synoptic
meteorology, colloque de Rome, Berlin 1960.
- 91 PONTROND E.A.
Le problème des retours d'est sur la côte-d'Azur,
N.I.T. section VI pièce n° 20, 69 p.
- 92 BORDREUIL C.
Les précipitations des 4 et 5 septembre 1964 dans
le Midi méditerranéen, La météorologie, décembre
1965 p 349-372.
- 93 BRUNET R.
Les campagnes toulousaines, thèse d'Etat, Toulouse
1965 727 p.
- 94 CARRIERE P.
Mise au point : le climat pluviométrique de la Ce-
venne, Bulletin de la Société Languedocienne de
géographie, avril-juin 1966 p 271-294.
- 95 DAHOUI S. , FRASSE M. , QUERMEL P.
Rigueur des hivers sur le sillon rhodanien et la
basse vallée du Rhône, N.I.T. section XVII pièce
n° 24, 26 p.
- 96 DAUPHINE A.
Notes : une tempête "saharienne" sur la côte-d'A-
zur, Méditerranée, 2- 1972 p 83-88.

97 DAUPHINE A.

Les "quartiers" climatiques à Nice, Cahiers de
l'Association française de biométéorologie,
4-1971 p 13-30.

98 DAUPHINE A.

Les chutes de neige sur le littoral méditerranéen
du sud-est français, Méditerranée 3-1972
p 141-157.

99 DUGRAND R.

La garrigue montpelliéraine. Essai d'explication
d'un paysage, Paris, P.U.F. 1964 292 p.

100 DUPOYET P.

Les pluies d'été dans le Var, Mémoire de maîtrise,
Nice, 1973 91 p.

101 FONTAINE P.

Les crues dans le bassin de la Garonne, N.I.T.
section XV pièce n°1, 23 p.

102 GARENC P.

Contribution à l'étude du climat d'entre Loire
inférieure et Gironde, Paris, Mémorial O.N.M.
n° 44 1957 197 p.

103 GARNIER M.

Climatologie de la France, sélection de données,
Paris, Mémorial O.N.M. n° 50, 1967 110 p.

104 GAUSSEN H.

La pluviosité et les régimes pluviométriques en
France, Revue de géographie des Pyrénées et du
sud-ouest, 3-1942 p 277-312.

- 105 GEORGE P.
 La région du bas-Rhône, thèse d'Etat, Paris 1935
 p 245-260.
- 106 GODARD H.
 La pluviosité en Gironde, Bordeaux 1943 192 p.
- 107 HERMITTE J.E.
 Contribution à l'étude de la pluviosité de l'au-
 tomne sur les rivages languedociens, provençaux
 et ligures, thèse complémentaire 1965 142 p.
- 108 ISNARD H.
 Notes sur les dépressions liguriennes d'hiver
 (décembre-février), Méditerranée, 4-1968
 p 297-321.
- 109 LEPAGNOT L.
 Quelques aspects récents de la pluviosité dans
 les pays de la moyenne Garonne, R.G.P.S.W. 1971.
- 110 MARRES P.
 Une trombe d'eau en pays languedocien (6 octobre
 1961); Mélanges offerts à Maurice Pardé p 411-417.
- 111 MILLER A.R. , TCHERNIA P.
 Mediterranean sea Atlas... W H O I atlas séries
 Vol. III 1970 190 p.
- 112 MONTALTO A. , BARONI P.
 Un esempio di circolazione autunnale sull' Europa
 con ciclogenesi orografica sotto vento alle Alpi,
 Rivista di Meteorologia e Aeronautica, 1968
 p 71-82.

- 113 MUSSET R.

La distribution des pluies en France selon les saisons, Annales de géographie, 1943 p 264-283.

- 114 ORIEUX A.

Les retours d'est sur la côte d'Azur, La météorologie, 1-1964 p 23-41.

- 115 ORIEUX A.

Radar et pluviométrie à Marignane, N.I.T. ,
section XV, pièce n° 17 14 p.

- 115bis PARDE M.

La formidable crue d'octobre 1940 dans les Pyrénées orientales, Revue géographique des Pyrénées et du sud-ouest, 1941, p 237-279.

- 116 PEDELABORDE P. , DELANNOY H.

Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie A.G. 1958 p 216-244.

- 117 ROUGETET E.

Le minimum de Saint-Raphaël, La Météorologie, 2-1948 p 1-36.

- 118 SCHNEIDER H.

Esquisse d'un profil pluviométrique de la Gironde à la Méditerranée, thèse d'université, Bordeaux, 1970 198 p.

- 119 SUTCLIFFE R.C.

Les problèmes fondamentaux de la prévision météorologique dans "Le colloque de Rome sur la météorologie du bassin méditerranéen", N.I.T. section VII, pièce n° 17, p 47-50.

- 120 TSCHAEGLE-APPERT P.
Les grandes périodes de sécheresse et de pluviosité à Nice-Gioffredo depuis 1893, Bulletin de la commission météorologique des Alpes Maritimes, 1964, p 18-21.
- 121 VIERS G.
La trombe d'eau du 5 août 1963 à Biarritz, Revue de géographie des Pyrénées et du sud-ouest, 1-1964 p 115.
- 122 VIGNEAU J.P.
Précipitations d'automne et perturbations méditerranéennes dans les Pyrénées orientales, Revue de géographie des Pyrénées et du sud-ouest, 3-1971, p 265-292.
- 123 Weather in the Mediterranean, 2 Vol., Londres, Meteorological office, 1962, 360 p et 347 p.

B - Ouvrages et articles consultés non cités.

1 - Méthodologie et techniques quantitatives.

- 124 BARBUT M. et MONJARDET B.
Ordre et classification, algèbre et combinatoire.
- 125 BROWN I.A.
On the use of Markov chains in movement research
Economic geography 1970.
- 126 BRUNET R.
Les nouveaux aspects de la recherche géographique :
rupture ou raffinement de la tradition.
L'espace géographique 1972.

- 127 CALOT G.
Cours de statistique descriptive Paris 1965.
- 128 CHADULE
Initiation aux méthodes statistiques en géographie, Paris 1974.
- 129 CHORLEY R.J. , HAGGET P. (edit)
Models in geography, Londres 1967.
- 130 CLAVAL P.
La réflexion théorique en géographie et les méthodes d'analyse. L'espace géographique 1972.
- 131 CLIFF A.D. et ORD K.
Spatial autocorrelation : a review of existing and new measures with applications.
Economic geography 1970.
- 132 COLE J.P. et KING CAM
Quantitative geography. Londres 1968.
- 133 DACEY M.F.
Some questions about spatial distribution in
Directions in geography 1973.
- 134 DAUPHINE A.
L'analyse factorielle : ses contraintes mathématiques et ses limites en géographie.
L'espace géographique 1973.
- 135 DAUPHINE A.
Programmes PL/I pour géographes. Cahiers CUMFID
1973 n°9.

- 136 DENIAU C. et OPPENHEIM G.
Deux méthodes d'analyse factorielle...
Paris 1972.
- 137 DUBOS J.
Statistique descriptive en science économique
Paris 1970.
- 138 GRANGER C.W.J.
Analyse spectrale des séries temporelles en Économie, Paris 1969.
- 139 HARVEY D.W.
Explanation in geography, Londres 1969.
- 140 HORST P.
Factor analysis of data matrices
New-York 1965.
- 141 KUHN T.S.
The structure of scientific revolution Chicago
1962.
- 142 LAIOIRE J.C.
Méthodes de traitement des chroniques, Paris
1972.
- 143 LERMAN I.C.
Les bases de la classification automatique,
Paris, 1970.
- 144 LIBAULT A.
L'interprétation des valeurs numériques dans la
recherche géographique. A.G. 1951.

- 145 MILSUM J.H. (edit)
Positive feedback Oxford 1968.
- 146 MONJALLON A.
Introduction à la méthode statistique,
Paris 1969.
- 147 PEDELABORDE P.
Les mathématiques élémentaires appliquées à la
géographie physique, Paris 1970.
- 148 PEGUY Ch. P.
Eléments de statistique appliquée aux sciences
géographiques, Paris 1957.
- 149 ROMEDER J.M.
Méthodes et programmes d'analyse discriminante,
Paris 1973.
- 150 ROSEMBLATT M.
Time-series analysis, New-York 1963.
- 151 SCHAEFER FK.
Exceptionalism in geography : a methodological
examination. Ann ass am geo 1953.
- 152 TORRENS IBERN J.
Modèles et méthodes de l'analyse factorielle,
Paris 1972.

2 - Climatologie générale

- 153 ANGOT A.
Traité élémentaire de Météorologie, Paris 1943.

- 154 Atlas international des nuages, Genève 1956.
- 155 BARBE G.
 Sur l'établissement du régime d'été de la circulation stratosphérique... caractère anormalement précoce de l'année 1959.
 C.R. Académie des Sciences 1959.
- 156 BARRETT E.C.
 Rethinking climatology, an introduction to the uses of weather satellite photographic data in climatological studies. Progress in geography 1970.
- 157 BENSON M.A.
 Average probability of extreme events water resource research 1967.
- 158 BENWELL G.R.R.
 The jet stream at 500 mb as a predicator of heavy grain. The Met Mag 1967.
- 159 BESSEMOULIN J. et CLAUSSE R.
 Vents, nuages et tempêtes. Paris, 1937.
- 160 BERENGER M. HEISSAT J.
 Contribution à l'étude de la variation saisonnière des jets. La Météorologie 1959.
- 161 BIROT P.
 Evolution des théories de la circulation générale de l'atmosphère A.G. 1956.
- 162 BJERNES H et autres
 Hydrodynamique physique avec application à la météorologie dynamique, Paris 1934.

- 163 BLANCHET G.
Masses d'air et types de temps dans le couloir
rhodanien. Deutchen Wetterdienst 1959.
- 164 BOYDEN M.
Jet stream in relation to fronts and flow at
low level , Meteo Mag 1963.
- 165 BOWVING K.A.
The organisation of severe local storm,
Weather 1968.
- 166 BROOKS C.E.P.
The origin of anticyclones, Q.J.R.M.S. 1932.
- 167 BYERS H.R.
General Meteorology, New-York 1959.
- 168 CHAPTAL L.
Comment peut-on définir et étudier les climats
locaux. B.S.L.G. 1932.
- 169 CHRISTENSEN W.L.
An investigation of the potential of component
analysis for weather classification.
Monthly weather review 1966.
- 170 CONRAD V. et POLLAK W.
Methods in climatology. Cambridge 1950.
- 171 CORBY G.A. (edit)
The global circulation of the atmosphere,
Londres, 1970.

- 172 COURT A.A.
Climatology : complex, dynamic and synoptic.
Ann. ASS. Am. Geo. 1957.
- 173 COUTAGNE A.
Des régimes pluviométriques de la France et de
leur classification. La Météorologie 1935.
- 174 CRESWICK W.S.
Experiments in objective frontal contour ana-
lysis. J. App. Meteo 1967.
- 175 CURRY L.
Climatic change as a random series, Ann. Ass.
Am. Geo. 1962.
- 176 DURAUDIN P. , MIRONOVITCH V.
Structure verticale de l'atmosphère en automne
entre les Açores et les Bermudes.
Memorial O.N.M. 1938 n° 28.
- 177 DUVERGE P.
Quelques méthodes récentes de prévision des
orages. La Météorologie 1958.
- 178 ENSALEM P.
Effets des variations de la composante vertica-
le de la vitesse du vent sur les mécanismes de
la condensation. Norois 1957.
- 179 ESTIENNE P.
Recherches sur le climat du Massif Central fran-
çais. Memorial O.N.M. 1956.

- 180 ESTIENNE P.
Le problème des variations climatiques en pays
tempéré. R.G.A. 1952.
- 181 FLOHN H. (edit)
General climatology. New-York 1970.
- 182 FURON R.
Eléments de paleoclimatologie, Paris 1972.
- 183 GALLOWAY J.L.
The three front model, the tropopause and the
jet stream. Weather 1958.
- 184 GILES B.D.
A three dimensional model of a front,
Weather 1972.
- 185 GODSKE C.L. et autres
Dynamic meteorology and weather forecasting
Boston 1957.
- 186 GROEN P.
The waters of the sea. Princeton 1967.
- 187 GUILMET B.
Intensité des précipitations en fonction de
leur durée, N.I.T. section XV n° 22.
- 188 HARE K.
The stratosphere, Geo. Rev. 1962.
- 189 HARLEY W.S.
An operational method of quantitative precipi-
tation forecasting. J. App. Met. 1965.

- 190 HEISSAT J.
La nature des précipitations. N.I.T. section XV
n° 12.
- 191 ISNARD H.
Esquisse du climat de Libye. Med 1968.
- 192 ISNARD H.
La répartition saisonnière des pluies en Algérie. A.G. 1950.
- 193 ISNARD H.
La répartition saisonnière des pluies au Maroc.
A.G. 1958.
- 194 JARVIS E.C.
The analysis and interpretation of precipitation
patterns. Toronto 1966.
- 195 JOHNSON H.
Rainfall in relation to the jet stream,
Q.J.R.M.S. 1954.
- 196 KIRK TH.
Some aspects of the theory of fronts and frontal
analysis. Q.J.R.M.S. 1966.
- 197 KREITZBERG C.W. et BROWN H.A.
Mesoscale weather systems within an occlusion,
J. App. Met. 1970.
- 198 LUND I.A.
Map pattern classification by statistcal method,
J. App. Met. 1963.

- 199 MATTHEWS
Variation of precipitation intensity with synoptic type over the Midlands. Weather 1972.
- 200 MEYNIER A.
Climatologie et masses d'air. I.G. 1950.
- 201 NOIN D.
Types de temps d'été au Maroc. A.G. 1963.
- 202 OMOTO Y.
On prefrontal precipitation zones in the United States. J.M.S. Japon 1965.
- 203 OREDSON L.
A case study concerning vertical motions and precipitations at a frontal zone; Tellus 1964.
- 204 PAGNEY P.
Reflexions sur les notions de "continentalité" et de "méridionalité", à propos de la saison chaude en Bourgogne et dans la France de l'Est. Mélanges Viers 1975.
- 205 PALMEN E. et NEWTON C.W.
Atmospheric circulation systems : their structure and physical interpretation. New-York 1970.
- 206 PEDELABORDE P.
Les oscillations climatiques. I.G. 1950.
- 207 PEDELABORDE P.
Remarques sur les variations de volume des précipitations. Mélanges Pardé.

- 208 PEDELABORDE P.
Le tourbillon, A.G. 1957.
- 209 PEGUY Ch. P.
Fondements physiques et fondements physiologiques de la notion d'aridité. Mélanges Bénévent 1954.
- 210 PEGUY Ch. P.
Schématisation et représentation cartographique des régimes pluviométriques. B.A.G.F. 1965.
- 211 PEGUY Ch. P.
La neige, Paris 1968.
- 212 REITER E.R.
Jet stream meteorology, Londres 1963.
- 213 RENARD R.J. et CLARKE L.C.
Experiments in numerical objective frontal analysis. Mon. Wea. Rev. 1965.
- 214 RODER W.
Etudes synoptico-statistiques sur la désagrégation des anticyclones de blocage sur le nord-est de l'Atlantique et l'Europe. Met. Abhand 1966.
- 215 ROULLEAU J.
La formation de la pluie. La Météorologie 1954.
- 216 ROULLEAU M.
Variations récentes du climat. La Météorologie 1958.

- 217 DE SAINTIGNON M.F. et VIVIAN H.
Les pluies d'août et septembre 1968 dans les
Alpes françaises. R.G.A. 1969.
- 218 SHAPIRO R. et MACDONALD N.J.
A test of the reality of rainfall singularities
Journal of Meteorology 1969.
- 219 SCHELL I.I.
On mathematical and natural models for the stu-
dy of climate changes. J. App. Met. 1971.
- 220 SORRE M.
Sur la conception du climat. B.S.L.G. 1936.
- 221 STRUZER L.R. et autres
Essai de correction des normales pluviométriques,
TRUDY G.G.O. 1968 Leningrad (résumé).
- 222 SUTCLIFFE R.C.
Weather and climate, Londres 1966.
- 223 TARRADE C.
Physique des nuages, Paris 1972.
- 224 TASSON A.
Caractères généraux de la circulation jusqu'à
35 km d'altitude, La Météorologie 1961.
- 225 TULLER S.E.
Mean monthly and annual precipitable water va-
pour in Canada, Weather 1972.
- 226 VIALAR J.
Cours d'exploitation aérologique , Paris 1962.

- 227 WALLINGTON C.E.
Mesoscale patterns of frontal rain and cloud,
Weather 1963.
- 228 WEISS L.L.
Sequence wet and dry days described by a Markov
chain probability model. Mon. Wea. Rev. 1964.

3 - Climatologie régionale

- 229 ALQUIE P.
Géographie du Midi aquitain, Paris 1939.
- 230 Anonyme
Les pluies d'octobre 1965, Ann. Cli. Pyr.
Ori. 1965.
- 231 Auteurs divers
A report on synoptic conditions in the Meditera-
nean area, Chicago 1944.
- 232 AUSTIN E.E. DEWAR P.
Upper winds over the Mediteranean and Middle
east, Londres Met. res. Pap. 1953.
- 233 BENEVENT E.
Régime des vents en Provence, R.G.A. 1923.
- 234 BENEVENT E.
Bora et mistral, A.G. 1930.
- 235 BIEL E.R.
Climatology of the Mediterranean area,
Chicago, 1944;

- 236 BILLAUT M. BIROT P. , CAVALIER D. et PEDELABORDE P.
Problèmes climatiques sur la bordure nord du
monde méditerranéen. A. G. 1956.
- 237 BLANCHET G.
Le climat de Beyrouth, R.G.L. 1965.
- 238 CASANOBE G.
Contribution à l'étude du régime des pluies en
Roussillon, Ann. Clim. Pyr. Ori. 1963.
- 239 CASANOBE G.
La tramontane, ANn. Clim. Pyr. Ori. 1966.
- 240 CASANOVA A.
Le temps en Tunisie, sa prévision N.I.T.
section III n° 4.
- 241 CHALIE L. et GITEAU R.
Etude de la situation météologique des 12 et
13 mai 1948 sur la Méditerranée occidentale et
les régions voisines, La Météorologie 1950.
- 242 CHAPTAL L.
Contribution à l'étude des pluies de Montpellier
B.S.L.G. 1934.
- 243 CHATELARD M.
Contribution à l'étude du climat des Pyrénées de
l'Ariège et du Salat, R.G.P.S.W. 1930.
- 244 CLERGET P.
Les types de temps en Méditerranée, A.G. 1937.

- 245 CONRAD V.
The climate of the Mediterranean region,
Bull. ann. Met. soc. 1943.
- 246 DAUPHINE A.
La neige dans un domaine marginal : les montagnes du pays niçois, Méditerranée 1971.
- 247 DETHOREY J.
Quelques caractères des vents du nord à Montélimar, contribution à l'étude du mistral.
La Météorologie 1960.
- 248 DODDS I.
A comparison of depressions over Europe and northeast atlantic, Weather 1971.
- 249 EGGER J.
Numerical experiments on the cyclogenesis in the gulf of Genoa, Bei. Phy der Atm 1972.
- 250 ENJALBERT H.
Les pays aquitains, Bordeaux 1961.
- 251 ESPIE L.
Les pluies exceptionnelles du 13 et 14 avril 1968 dans le département du Var, Bull. Etu. clim. du Var, 1968.
- 252 FARTOUAT B.
Analyse des précipitations à l'observatoire de Bordeaux-Floirac. N.I.T. section XV n° 25.

- 253 FLORENT R.
Le quart sud-est français, orographie et courants
méridiens, N.I.T. section VII n° 7.
- 254 GALZI H.
Types de temps à l'origine des fortes pluies
d'automne dans les Alpes Maritimes. La Météoro-
logie 1966.
- 255 GAUSSEN H.
La végétation dans la moitié orientale des Py-
rénées 1926.
- 256 GELCI R.
Sur la violente tempête du 4/11/1961 en Méditer-
ranée. N.I.T. section VII n°24.
- 257 GLEESON T.A.
Cyclogenesis in the Mediterranean region,
Arc. Met. Geo. Bio. 1954.
- 258 GORON L.
Les pré Pyrénées ariégeoises et garonnaises,
Toulouse 1941.
- 259 HEYNARD F.
Contribution à l'étude du climat bordelais.
La Météorologie 1957.
- 260 JALY R.
Les précipitations anormales de fin décembre
sur le centre et le sud-est de la France. La
Météorologie 1958.

- 261 JORRE G.
Le Terrefort toulousain et Lauragais,
Toulouse 1971.
- 262 KAYSER B.
Climats et récoltes de la région toulousaine de-
puis 1880. R.G.P.S.W. 1961.
- 263 LE BRIS E.
Les climats littoraux en France de Brest à Ba-
yonne, Paris 1967
- 264 LEFEBVRE Th.
Les modes de vie dans les Pyrénées atlantiques
occidentales, Paris 1933.
- 265 LE GALL A.
Les types de temps du sud-ouest de la France,
La Météorologie 1934.
- 266 LERAT S.
Les pays de l'Adour, Bordeaux 1963
- 267 LUXEMBOURG M.
Géographie du département du Lot et Garonne,
Nérac 1965.
- 267bis MASSIP M.
Les variations du climat de Toulouse, Mémoires
de l'Académie de Toulouse 1894.
- 268 MUSSOT R.
Essai d'étude comparative des crues d'octobre
1940 et 1965 dans les Pyrénées orientales,
Mélanges Pardé.

- 269 ORIEUX A.
Fronts orageux d'ouest à sud-ouest sur le littoral méditerranéen. N.I.T. section VII n° 12.
- 270 PARDE M.
Les crues de décembre 1953 dans l'Hérault, R.G.P.S.W. 1954
- 271 PARDE M.
La grande crue de la Garonne en janvier 1955 A.G. 1958
- 272 PARDE M.
La formidable crue d'octobre 1940 dans les Pyrénées orientales R.G.P.S.W. 1941
- 273 PEDELABORDE P. et DELANNOY H.
Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie A.G. 1958
- 274 RADINOVIC D.
On the forecasting of the cyclogenesis in the west meditteranea Arc. fur Met. Geo. und Bio. 1965.
- 275 REYNE G.
Recherche sur la pluviométrie dans le département des Alpes-Maritimes, Méditerranée 1961.
- 276 ROUGETET E.
Le front stationnaire du littoral du sud-est N.I.T. section VII n° 2.
- 277 SEBASTIEN M.
L'Ariège, étude géographique, Foix 1973.

- 278 SELTZER P.
La carte des pluies annuelles probables en
Algérie, La Météorologie 1953.
- 279 SIMI P.
Le climat de la Corse Bull. Trx. his et
Sci. 1963
- 280 SORRE M.
Les Pyrénées méditerranéennes, Paris 1913
- 281 TREWARTHA G.
The earth's problems climates, Londres 1966
- 282 URBANI M.
Sulla ciclogenesi nel mediterraneo durante
l'inverno Riv. Met. Aer. 1956
- 283 URBANI M.
Sulla ciclogenesi nel mediterraneo durante
l'estate Riv. Met. Aer. 1957
- 284 VIERS G.
Les perturbations neigeuses d'origine méditer-
ranéenne dans les régions sous pyrénéennes,
R.G.P.S.W. 1954
- 285 VIGNEAU J.P.
Le vent d'autan d'Aquitaine orientale
R.G.P.S.W. 1972.

T A B L E D E M A T I E R E S

INTRODUCTION	REFLEXIONS METHODOLOGIQUES
	Axiomes scientifiques et climatologie
	Projets et sciences climatologiques
	Les méthodes en climatologie
	Les techniques
PREMIERE PARTIE	LES ELEMENTS SIMPLES DU COMPLEXE PLUVIOMETRIQUE
CHAPITRE UN	LA DUREE DES PRECIPITATIONS
1.1	Reflexions préliminaires
1.1.1	Le choix des paramètres
1.1.2	Problèmes et techniques
1.2	Durée moyenne et répartition fréquentielle des types de durée
1.2.1	La durée moyenne des précipitations
1.2.2.	Analyse fréquentielle des types de durée
1.3	Les séquences pluvieuses
1.3.1	Analyse structurelle : une distribution logarithmique
1.3.2	La persistance des séquences pluvieuses
1.4	La variabilité des durées
1.4.1	La variabilité annuelle et saisonnière
1.4.2	La variabilité des types de durée
	Conclusion

CHAPITRE DEUX	L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS
2.1	Reflexions méthodologiques
2.2	Les intensités : analyse des tendances moyennes
2.2.1	Lois de variations spatiales de l'intensité moyenne
2.2.2	Analyse fréquentielle des précipitations tombées en vingt quatre heures
2.2.3	Les intensités réelles : analyse fréquentielle
2.3	La variabilité des intensités
2.3.1	La variabilité des précipitations tombées en vingt quatre heures
2.3.2	La variabilité des types d'intensités réelles
Conclusion	
DEUXIEME PARTIE	LES ELEMENTS COMPLEXES ET LES LOIS DE RELATION
CHAPITRE TROIS	LES HAUTEURS DES PRECIPITATIONS
3.1	Reflexions théoriques et techniques
3.1.1	Les hauteurs annuelles
3.1.2	La notion de saison
3.2	L'année pluviométrique
3.2.1	La durée de l'année pluvieuse
3.2.2	L'origine de l'année pluviométrique
3.2.3	Les modèles mensuels
3.3	Précipitations diurnes et nocturnes

- 3.4 Espaces et régimes pluviométriques
 - 3.4.1 Les espaces pluviométriques
 - 3.4.2 Les régimes pluviométriques

Conclusion

CHAPITRE QUATRE

LA VARIABILITE DES HAUTEURS

- 4.1 Problèmes et techniques
 - 4.1.1 La variabilité structurelle
 - 4.1.2 La variabilité dynamique
- 4.2 La variabilité structurelle des hauteurs
 - 4.2.1 La variabilité annuelle
 - 4.2.2 Les variations saisonnières : intensités et fréquences
 - 4.2.3 Les années exceptionnelles
- 4.3 La variabilité dynamique
 - 4.3.1 1851-1900 : Un lent déclin de la pluviosité
 - 4.3.2 Les fluctuations du vingtième siècle
 - 4.3.3 La variabilité interannuelle et intermensuelle

Conclusion

CHAPITRE CINQ

LES PAROXYSMES PLUVIOMETRIQUES

- 5.1 Intensité-durée maxima : les schémas moyens
 - 5.1.1 Les paroxysmes annuels
 - 5.1.2 Les variations saisonnières

- 5.2 Les intensités durées maxima
 - 5.2.1 Les intensités durées inférieures à 9 mm/ 1 heure
 - 5.2.2 Les intensités durées des seuils moyens
 - 5.2.3 Les intensités durées des seuils supérieurs à 17 mm/ 6 heures
- 5.3 Les précipitations records
- 5.4 La variabilité des durées intensités maxima
 - 5.4.1 Variabilité des paroxysmes dans les Midis secs
 - 5.4.2 La faible variabilité des excès en pays basque
 - 5.4.3 La variabilité des excès dans les Midis humides

Conclusion

CHAPITRE SIX

LES LOIS DE COMPOSITION

- 6.1 Les liens entre les éléments pluviométriques
 - 6.1.1 A l'échelle annuelle
 - 6.1.2 A l'échelle mensuelle
- 6.2 Les liens entre les divers régimes
 - 6.2.1 Les liens entre les régimes sur les rivages méditerranéens
 - 6.2.2 Les liaisons des régimes en Aquitaine

Conclusion

CONCLUSION PARTIELLE

TROISIEME PARTIE

LES MECANISMES PLUVIOMETRIQUES :
ETUDE ELEMENTAIRE

CHAPITRE SEPT

LES MECANISMES GENERAUX

- 7.1 Les centres d'action régionaux
 - 7.1.1 Les anticyclones
 - 7.1.2 Le rôle des anticyclones
 - 7.1.3 Les dépressions
 - 7.1.4 Caractères et rôle des dépressions
- 7.2 Les complexes géographiques
 - 7.2.1 Les grands traits du relief
 - 7.2.2 Le contact physique terre-mer
 - 7.2.3 Le contact thermique terre-mer
- 7.3 Les centres régionaux
 - 7.3.1 Les centres régionaux et locaux en Méditerranée
 - 7.3.2 Les centres locaux et régionaux en Aquitaine

CHAPITRE HUIT

FACTEURS AEROLOGIQUES ELEMENTAIRES ET PRECIPITATIONS

- 8.1 Les techniques appliquées
- 8.2 Facteurs aérologiques et pluies: le schéma annuel
 - 8.2.1 De l'absence d'un facteur déterminant
 - 8.2.2 Pluies et facteurs aérologiques : analyse fréquentielle

- 8.3 Les rythmes saisonniers
 - 8.3.1 Du rôle déterminant de quelques flux
 - 8.3.2 Facteurs aérologiques en automne
 - 8.3.3 Les facteurs aérologiques à la fin de l'hiver
 - 8.3.4 Les facteurs aérologiques au printemps
 - 8.3.5 Les facteurs aérologiques en été

Conclusion

QUATRIEME PARTIE LES MECANISMES PLUVIOMETRIQUES : ETUDE DES COMPLEXES

CHAPITRE NEUF ANALYSE DESCRIPTIVE DES TYPES DE SITUATIONS-CIRCULATIONS NON NORVE- GIENNES

- 9.1 Reflexions méthodologiques
 - 9.1.1 Définitions
 - 9.1.2 La classification des situations-circulations
 - 9.1.3 La structure des classes
- 9.2 Les classes de situations-circulations et leur structure
 - 9.2.1 Interprétation élémentaire et synthétique des analyses de structure
 - 9.2.2 La structure des différentes classes

Conclusion

CHAPITRE DIX

LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DES
TYPES I ET II
(EFFET D'ALTITUDE DOMINANT)

- 10.1 Les situations-circulations du type I
 - 10.1.1 La classe un
 - 10.1.2 La classe deux
 - 10.1.3 La classe trois
 - 10.1.4 La classe quatre
- 10.2 Les situations-circulations du type II
 - 10.1.1 La classe cinq
 - 10.1.2 La classe six

CHAPITRE ONZE

LES SITUATIONS-CIRCULATIONS DES
TYPES III ET IV
(EFFET DE SURFACE DOMINANT)

- 11.1 Les situations-circulations du type III
 - 11.1.1 La classe sept
 - 11.1.2 La classe huit
 - 11.1.3 La classe neuf
 - 11.1.4 La classe dix
- 11.2 Les situations-circulations du type IV
 - 11.2.1 La classe onze
 - 11.2.2 La classe douze

Conclusion

CHAPITRE DOUZE

SITUATIONS-CIRCULATIONS ET CA-
RACTERES DE LA PLUVIOSITE

- 12.1 L'étendue spatiale des averses
 - 12.1.1 Le modèle annuel

- 12.1.2 Les répartitions saisonnières
- 12.2 Analyse fréquentielle des situations-circulations pluvieuses
 - 12.2.1 Les fréquences annuelles
 - 12.2.2 Les fréquences saisonnières
- 12.3 L'intensité des précipitations
 - 12.3.1 Les intensités annuelles
 - 12.3.2 Les rythmes saisonniers
- 12.4 Les séquences pluvieuses

Conclusion

CHAPITRE TREIZE

INTRODUCTION A L'ANALYSE CAUSALE ET PREDICTIVE

- 13.1 L'analyse prédictive et causale : introduction méthodologique
 - 13.1.1 Analyse prédictive structurelle et dynamique
 - 13.1.2 Analyse prédictive causale
- 13.2 Forme et validité des modèles de régression
- 13.3 Du pouvoir explicatif de la variable domaine

Conclusion

CHAPITRE QUATORZE

LOIS ET ESPACES PLUVIOMETRIQUES ESSAI DE SYNTHESE

- 14.1 Les lois à l'échelle des Midis
 - 14.1.1 Les lois structurelles
 - 14.1.2 Les lois de variabilité

- 14.1.3 Les régimes
- 14.1.4 Les lois de composition
- 14.2 Les précipitations à l'échelle des domaines
 - 14.2.1 Etude comparative générale
 - 14.2.2 L'été pluvieux en Aquitaine
 - 14.2.3 La durée des pluies en Méditerranée
- 14.3 Les précipitations sur les régimes méridionales
 - 14.3.1 Le pays basque
 - 14.3.2 L'Aquitaine océanique
 - 14.3.3 L'Aquitaine centrale
 - 14.3.4 Le Roussillon
 - 14.3.5 Le bas-Rhône
 - 14.3.6 La côte d'Azur
 - 14.3.7 Languedoc et côte varoise : deux transitions
- 14.4 Les limites pluviométriques

Conclusion

CONCLUSION

Bibliographie

Table des matières

Annexes.

ANNEXE I

CODE GENERAL DES INDICATEURS

Situation à 500 mb

a pression	1 haute pression	2 dépression	
b courbure des flux	1 anticyclonique	2 cyclonique	
c direction des flux	1 de nord	2 d'ouest	3 de sud
	4 d'est	5 indéfinie	
(d) température	1 sup. à -15° ou -20°	2 inf. à -15° ou -20°	

Masse d'air

(e) type	1 rayonnement	2 convective	3 cinématique
(f) structure	1 convergente	2 normale	3 divergente
(g) tension de vapeur	1 inf. à 6 mb	2 6-16 mb	3 +de 16mb
(h) mini surface	1 inf. à T-2	2 T-2 < t < T+2	3 sup. à T+2
(i) maxi surface	1 inf. à T-2	2 T-2 < t < T+2	3 sup. à T+2

Circulation en surface

j situation générale	1 anticyclone	2 dorsale	3 col
	4 dépression	5 baisse	6 marais
k flux	1 de nord	2 d'ouest	3 de sud
	4 d'est	5 indéfini	
l perturbation: présence	1 perturbation	2 sans perturbation	
m perturbation: trajectoire	1 de nord	2 d'ouest	3 de sud
	4 d'est	5 indéfinie	6 absence
n perturbation: position	1 Aquitaine	2 Sud-Est	3 au nord
	4 à l'ouest	5 au sud	6 à l'est
	7 sans perturbation		
o type de front	1 pert. entière	2 front chaud	3 F. froid
	4 occlusion	5 F. stationnaire	6 sans front
p trajectoire du front	1 de nord	2 d'ouest	3 de sud
	4 d'ouest	5 stationnaire	6 sans front
q variation de pression	1 positive (+V)	2 nulle (-V à +V)	3 nég. (-V)

Temps

r type de ciel	1 clair	2 marge-tête	3 corps
	4 traîne	5 orageux	6 beau
s extension des averses	1 généralisée	2 domaine	3 régionale
	4 locale		

Les variables () ne sont pas utilisées dans l'analyse de structure.

ANNEXE IISTATISTIQUE ELEMENTAIRE

Il est impossible de reproduire en quelques pages toutes les techniques quantitatives utilisées dans cette thèse. Le lecteur intéressé se reportera à la bibliographie.

I-ANALYSE DU FAIT MOYEN1 - LA MOYENNE ARITHMETIQUE

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / N$$

La moyenne, paramètre le plus utilisé, n'a de valeur réaliste que pour les distributions gaussiennes.

2 - LA MEDIANE

Les éléments d'une série statistique étant classés par ordre de grandeur croissante, on appelle médiane, Mé, tout nombre qui partage la série en deux parties contenant chacune au plus 50 % des valeurs.

La médiane, moyenne de position doit être employée par des séries non gaussiennes, en I ou J.

3 - MODE ET CLASSE DOMINANTE

On appelle classe dominante la classe qui a l'effectif le plus nombreux. Une série bimodale possède deux modes, ou deux classes dominantes.

L'ensemble de ces paramètres permet de définir le fait moyen.

II -ANALYSE DE LA VARIABILITEA- VARIABILITE STRUCTURELLE

1 - Variabilité absolue

a/ - L'écart-type $ET = \sqrt{\sum n_i (X_i - \bar{X})^2 / N - 1}$

est donné en valeur réelle, mm pour les hauteurs, heures pour les durées... Il représente une moyenne des écarts par rapport à la moyenne $\bar{X}$.

b/ - L'étendue mesure la différence entre la valeur la plus forte et la valeur la plus faible; ce paramètre dépend de la longueur des séries : l'étendue est d'autant plus élevée que la série est longue. Ce défaut explique son peu d'intérêt.

c/ - L'interquartile : les quartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 partagent l'ensemble des valeurs croissantes d'une série en quatre parties contenant chacune au plus 25 % des valeurs; le deuxième quartile est la médiane.

L'interquartile $I = Q_3 - Q_1$ mesure la variabilité absolue de séries non gaussiennes.

2 - Variabilité relative

Pour comparer des séries très différentes, la variabilité relative est obtenue en divisant la variabilité absolue par un paramètre de tendance moyenne.

Coefficient de variation $CV = ET / \bar{X}$

Semi-interquartile $S_i = Q_3 - Q_1 / Mé$

Suivant la loi de distribution le chercheur retient le coefficient de variation (courbes en cloches) ou le semi-interquartile (courbe en I ou J)

B - VARIABILITE DYNAMIQUE

Pour une série aléatoire, sans tendance ni cycle il est possible d'employer le coefficient de variabilité

interséquentielle.

$$C = N (\sum |X_i - X_{i+1}|) / (N-1)(\sum X_i)$$

Pour les autres séries, il faut déceler la tendance par des tests, puis la quantifier par un modèle de régression. La même opération est répétée pour les cycles.

III-RELATION ENTRE DEUX SERIES

L'existence ou l'absence d'une relation entre deux séries, donc deux phénomènes, est mesurée par de très nombreux paramètres; seuls les plus utilisés dans cette thèse sont définis.

1 - CORRELATION LINEAIRE DE BRAVAIS-PEARSON

Il s'écrit :

$$R = \sum X_i Y_i - N \bar{X} \bar{Y} / \sqrt{(\sum X_i^2 - N \bar{X}^2)(\sum Y_i^2 - N \bar{Y}^2)}$$

Ce coefficient qui mesure la relation entre les séries X et Y varie de -1 à + 1; suivant le nombre de couples (N) de données, il est significatif ou non. Quand R est positif la relation est directement proportionnelle; quand R est négatif, elle est inversement proportionnelle. Ce coefficient ne peut être testé que pour les relations linéaires (distributions marginales normales).

2- CORRELATION DE RAND DE SPEARMAN

$$R_s = 1 - (6 \sum D^2 / N (N^2 - 1))$$

où D est la différence de rang
et N le nombre de couples.

Ce coefficient, employé pour les données classées en rang, n'est pas soumis à la contrainte de normalité.

Comme le coefficient de Bravais-Pearson il doit être testé (existence de tables statistiques).

3 - LE CHI-DEUX

Il s'écrit :

$$X^2 = \sum (F_o - F_t)^2 / F_t$$

où F_o fréquences observées

F_t fréquences théoriques.

Pour tester un chi-deux on utilise encore une table donnant des valeurs suivant une probabilité fixée par le chercheur et en fonction des degrés de liberté (v)

$$v = (l-1)(c-1)$$

où l est le nombre de lignes

et c est le nombre de colonnes du tableau.

Contrairement aux autres indices, le chi-deux indique seulement la présence ou l'absence de relation.

N.B. Toutes ces relations ne sont pas obligatoirement causales.

4-CONCEPTS D'ANALYSE MULTIDIMENSIONNELLE

Les relations peuvent être mesurées non seulement entre deux séries, par exemple entre pluies en janvier et en février, mais entre n séries, par exemple toutes les relations entre les douze mois. On obtient alors une table de corrélation.

A partir de cette matrice, suivant l'optique de recherche on applique différents traitements.

- Le regroupement en classes des variables reliées par de fortes corrélations relève de la classification automatique.

- La projection sur des axes orthogonaux donne une analyse factorielle classique.

- En privilégiant une variable on obtient un modèle de régression multiple.

Le lecteur souvieux de connaître ces techniques se reportera à la bibliographie.

ATLAS DES FIGURES

LES PRECIPITATIONS DANS LES
MIDIS FRANCAIS

LISTE DES FIGURES

- 1 Modèle d'étude des précipitations dans les Midis français
 - 1.1 Hypothèses graphiques sur les données
 - 1.2 Hauteur et durée des précipitations annuelles
 - 1.3 Durée mensuelle moyenne des précipitations
 - 1.4 Fréquences des types de chutes classées suivant leur durée (année)
 - 1.5 Les séquences pluvieuses (fréquences)
 - 1.6 Les types de durées réelles (mois)
 - 1.7 Les séquences pluviométriques : loi de distribution logarithmique
 - 1.8 Les durées mensuelles (analyse des moments)
 - 1.9 Courbes théoriques et observées des séquences pluvieuses (effet de persistance)
 - 1.10 Valeur du coefficient de persistance
- 2.1 Fréquences cumulées des intensités journalières
- 2.2 Régime pluviométrique décomposé
- 2.3 Histogramme des types d'intensités réelles (année)
- 2.4 Les intensités réelles mensuelles
- 2.5 Interquartiles mensuels des précipitations journalières
- 3.1 Hauteurs annuelles ajustées (loi de Gauss)
- 3.2 Les espaces pluviométriques, analyse factorielle R-mode
- 3.3 Les espaces pluviométriques, analyse factorielle Q-mode
- 3.4 Saturations ensemble des Midis français
- 3.5 Analyse des saturations (échelle des domaines)
- 3.6 Les régimes pluviométriques provinciaux
- 4.1 Hauteurs annuelles et écarts-types

- 4.2 Coefficients de variation: annuels (hauteurs)
- 4.3 Moyennes décadaires des pluies annuelles
- 4.4 Moyennes mobiles des précipitations annuelles
- 4.5 Typologie de l'ensemble des années pluvieuses
- 4.6 Typologie de l'ensemble des années sèches
- 4.7 Calendrier des années humides et sèches
- 4.8 Coefficients de variabilité interséquentielle

- 5.1 Moyenne annuelle des pluies dépassant certains seuils
- 5.2 Les paroxysmes, tendance et variabilité
- 5.3 Droites de fréquence intensité-durée
- 5.4 Intensité-durée maximum (1966-70)

- 7.1 Les régimes pluviométriques

- 9.0 Echelles méthodologiques, spatiales et temporelles, définitions
- 9.1 Classe 1 (06/01/73)
- 9.2 Classe 2 (04/08/73)
- 9.3 Classe 3 (06/03/70)
- 9.4 Classe 4 (18/01/74)
- 9.5 Classe 5 (13/10/70)
- 9.6 Classe 6 (08/08/70)
- 9.7 Classe 7 (14/12/70)
- 9.8 Classe 8 (10/04/73)
- 9.9 Classe 9 (25/03/70)
- 9.10 Classe 10(08/05/73)
- 9.11 Classe 11(08/06/70)
- 9.12 Classe 12(25/07/73)
- 9.13 Exemple de structure
- 9.14 Analyse structurale des classes : les quatre types finaux

- 10.1 Situation du 13/06/68 classe 1
- 10.2 Situation du 24/06/68 classe 1

- | | | |
|-------|-----------------------|----------|
| 10.3 | Situation du 14/06/68 | classe 2 |
| 10.4 | Situation du 16/08/71 | classe 2 |
| 10.5 | Situation du 20/06/70 | classe 3 |
| 10.6 | Situation du 04/09/64 | classe 4 |
| 10.7 | Situation du 05/03/71 | classe 4 |
| 10.8 | Situation du 13/01/69 | classe 4 |
| 10.9 | Situation du 19/06/68 | classe 5 |
| 10.10 | Situation du 18/05/72 | classe 6 |
-
- | | | |
|-------|-----------------------|-----------|
| 11.1 | Situation du 30/08/71 | classe 7 |
| 11.2 | Situation du 14/12/73 | classe 7 |
| 11.3 | Situation du 04/01/74 | classe 8 |
| 11.4 | Situation du 08/01/69 | classe 8 |
| 11.5 | Situation du 03/02/74 | classe 9 |
| 11.6 | Situation du 16/06/68 | classe 9 |
| 11.7 | Situation du 18/10/68 | classe 9 |
| 11.8 | Situation du 10/04/73 | classe 10 |
| 11.9 | Situation du 14/02/74 | classe 10 |
| 11.10 | Situation du 15/10/68 | classe 11 |
| 11.11 | Situation du 08/08/68 | classe 11 |
| 11.12 | Situation du 10/01/72 | classe 11 |
| 11.13 | Situation du 17/08/68 | classe 12 |
| 11.14 | Situation du 02/03/73 | classe 12 |
-
- | | |
|------|---|
| 12.2 | Fréquences annuelles des types de situations-circulations et des apports correspondants |
| 12.3 | Intensités classées dans les six stations-tests |
-
- | | |
|------|---|
| 13.1 | Carte des vitesses verticales 800 mb |
| 13.2 | Indice de circulation zonale mensuelle. |

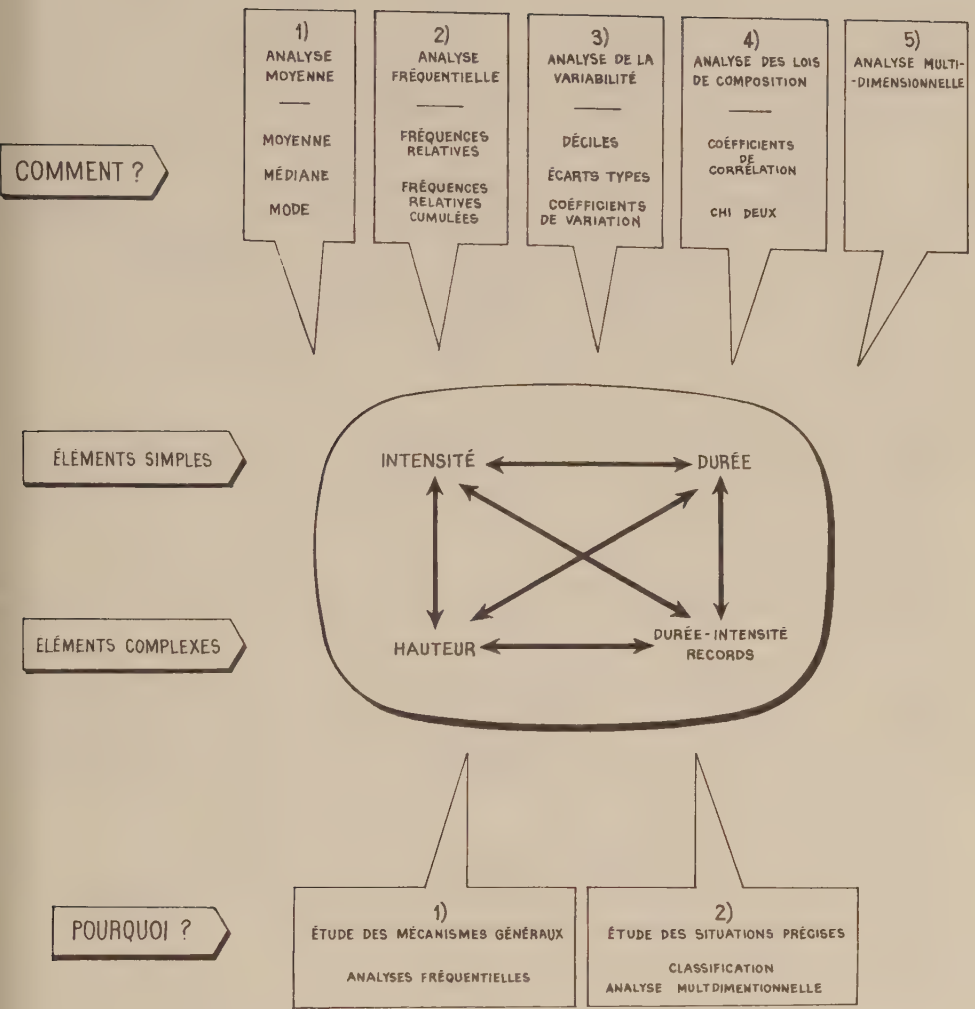


Fig. 1 : MODÈLE D'ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS DANS LES MIDIS FRANÇAIS .



Fig. 1-2: HAUTEUR ET DURÉE DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES.

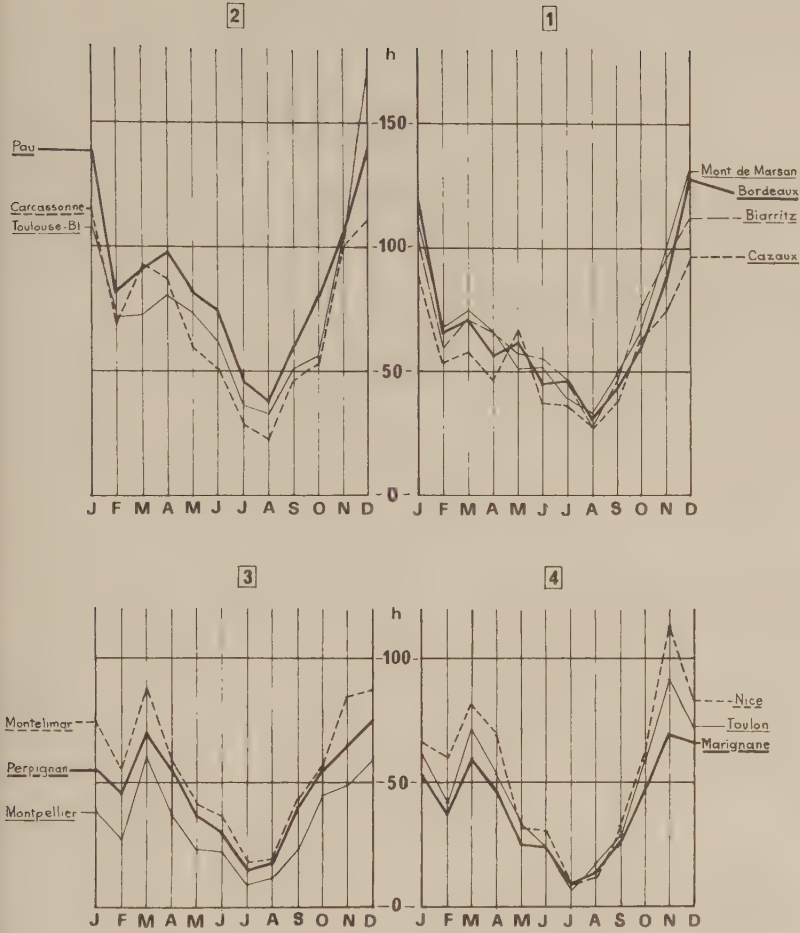


Fig. 1-3: DURÉE MENSUELLE MOYENNE DES PRÉCIPITATIONS.

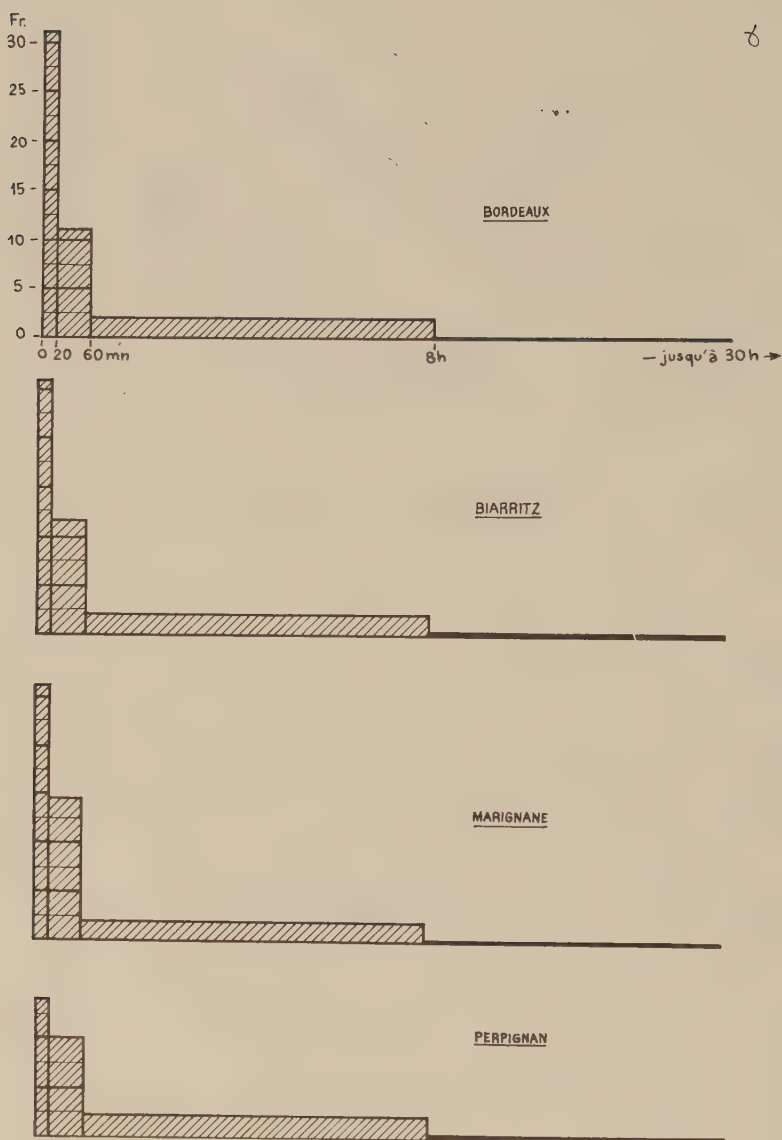


Fig. 1-4 : FRÉQUENCES DE TYPES DE CHUTES
CLASSÉES SUIVANT LEUR DURÉE (ANNÉE).

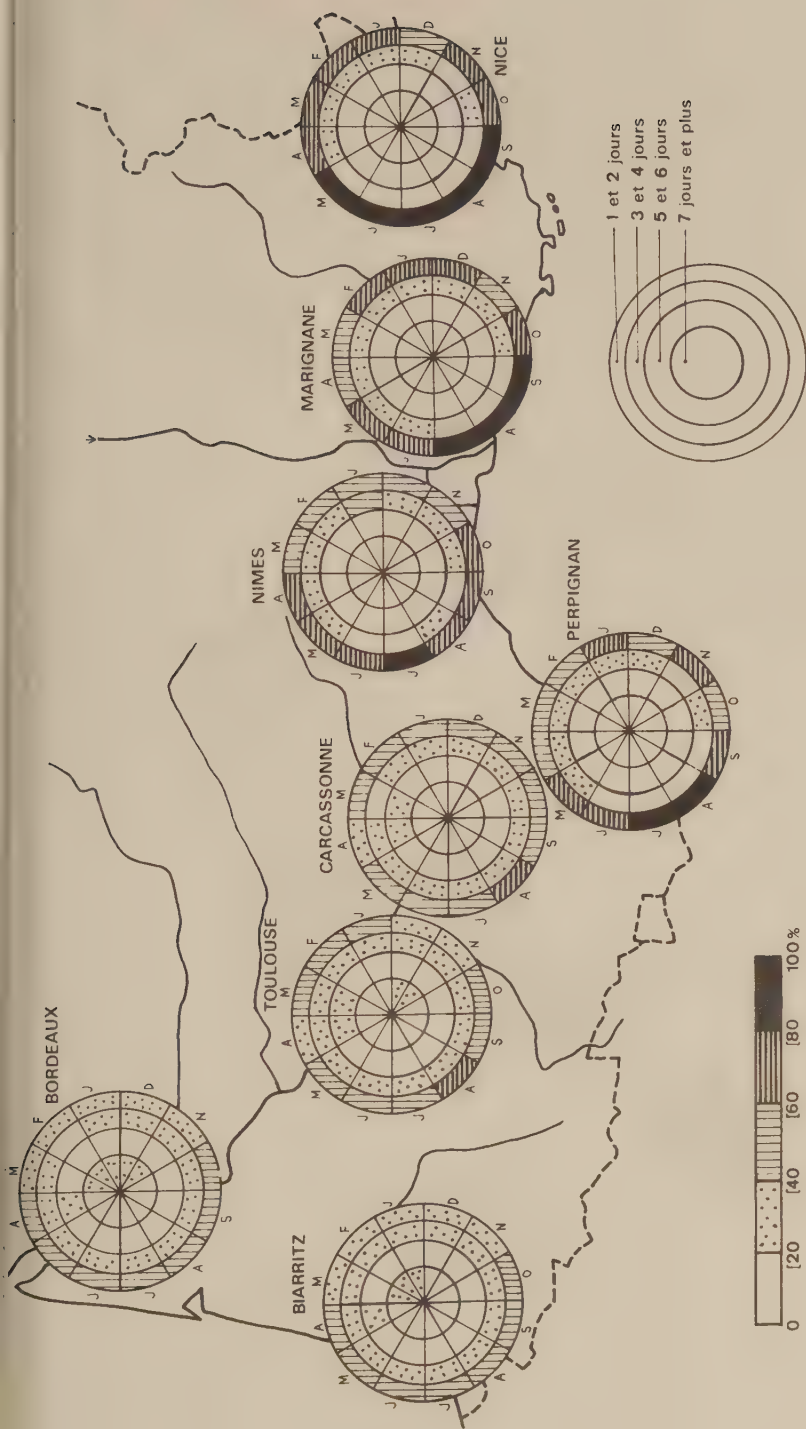


Fig 1-5 : LES SÉQUENCES PLUVIEUSES (FRÉQUENCES).

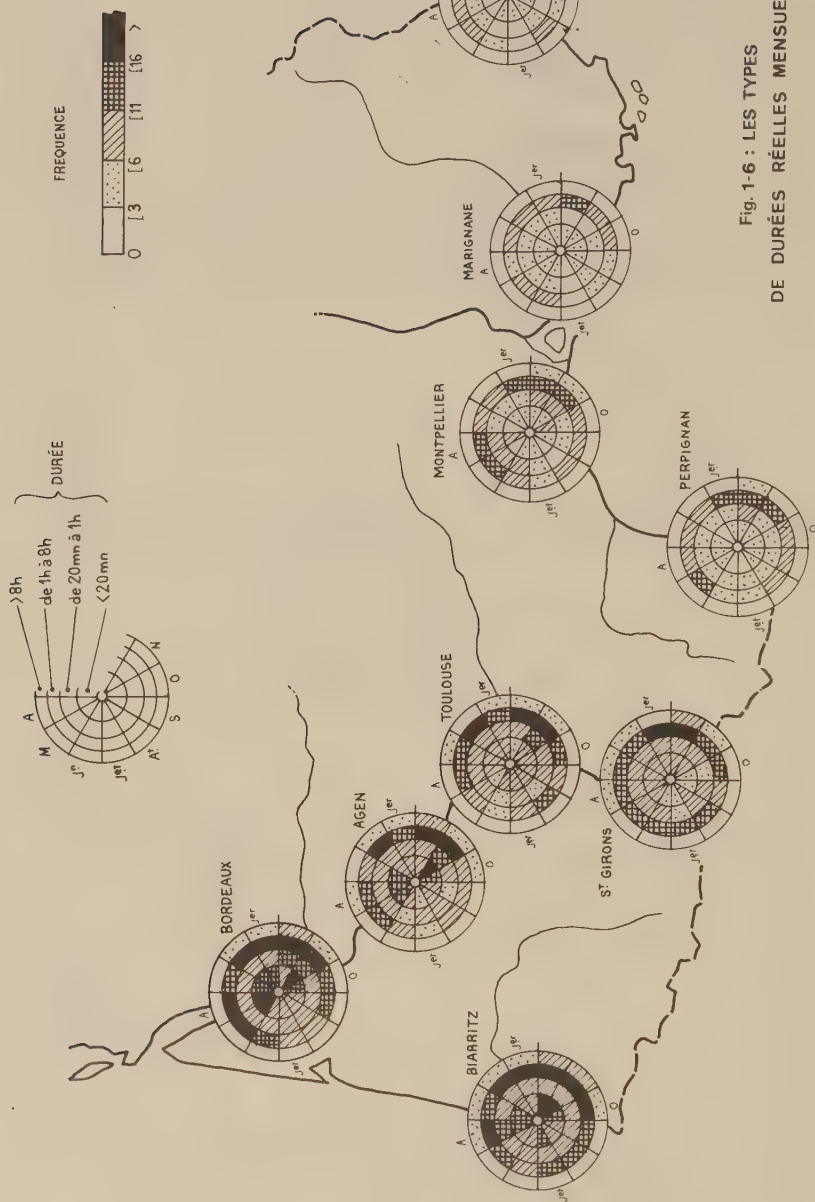


Fig. 1-6 : LES TYPES
DE DURÉES RÉELLES MENSUELLES.

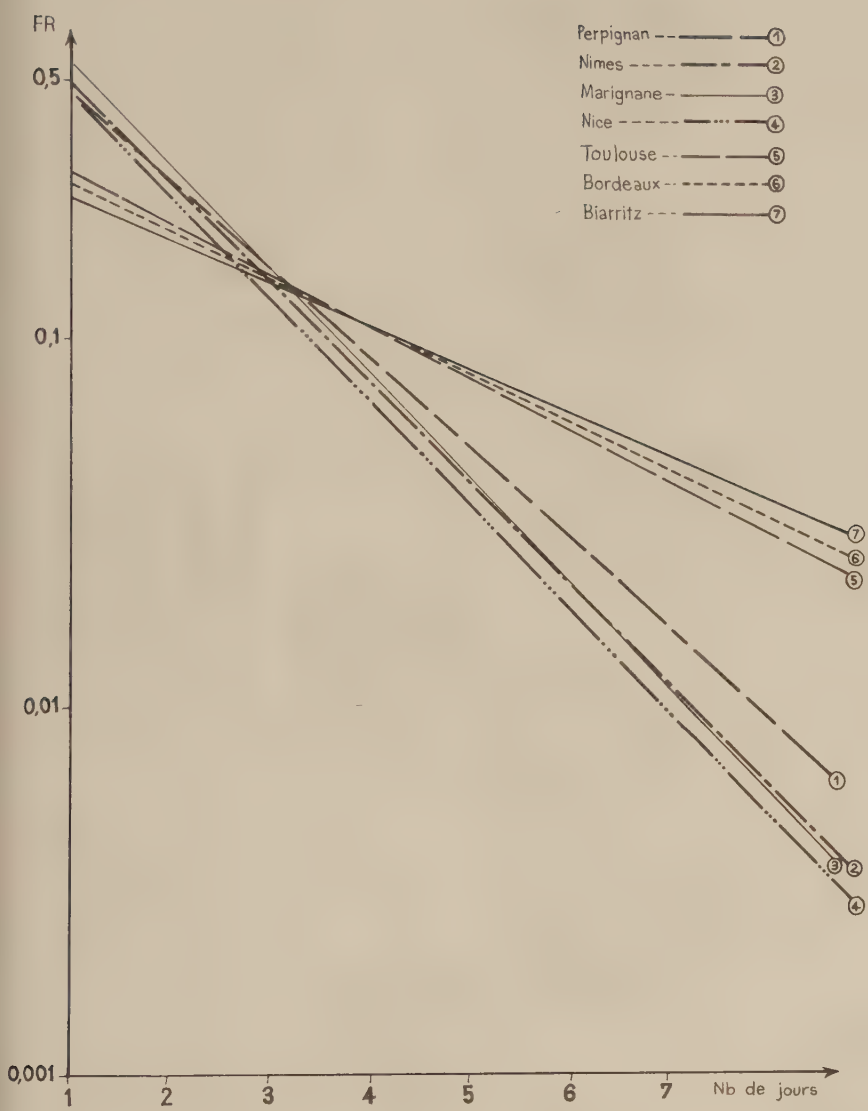


Fig. 1-7 : LES SÉQUENCES PLUVIOMÉTRIQUES
LOI DE DISTRIBUTION LOGARITHMIQUE.

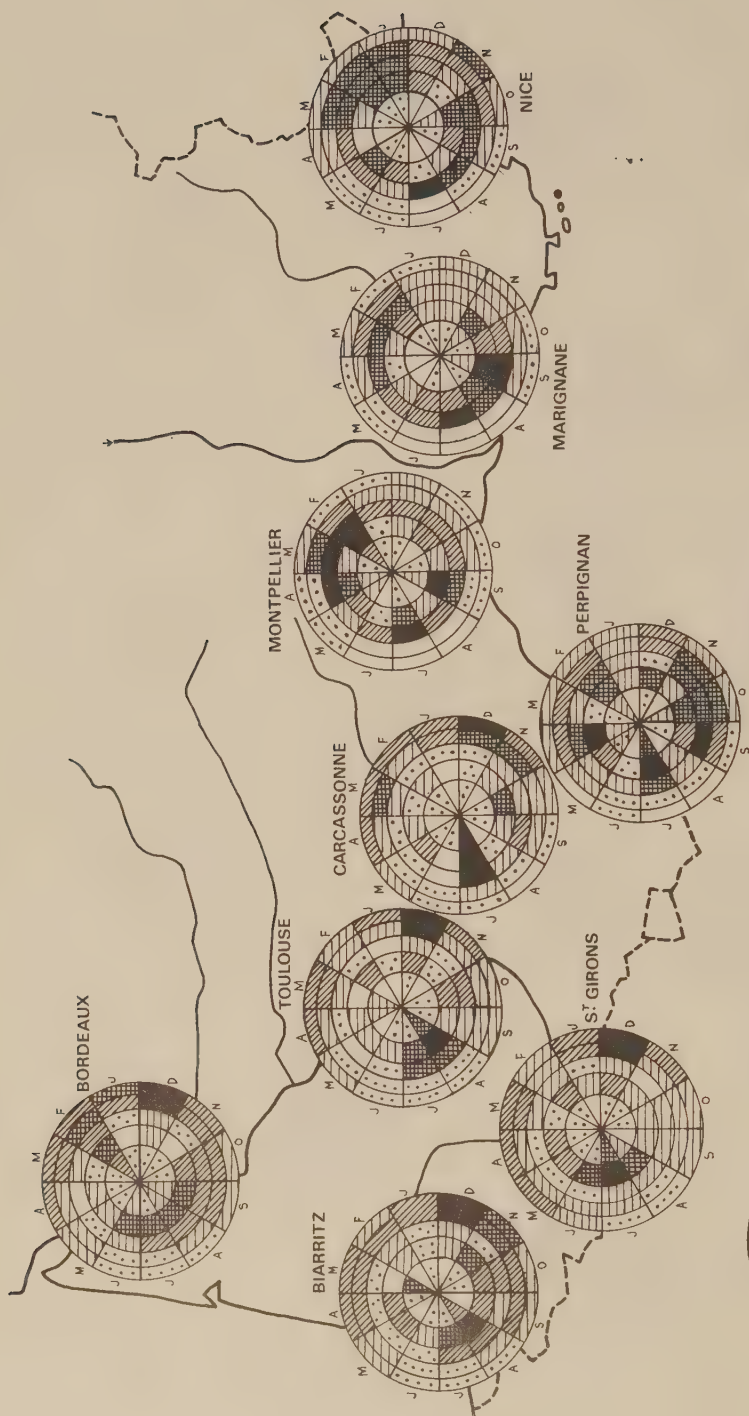
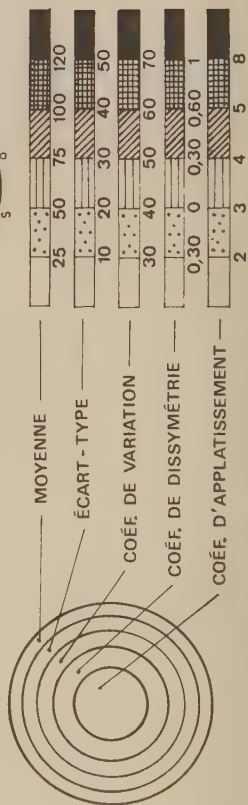
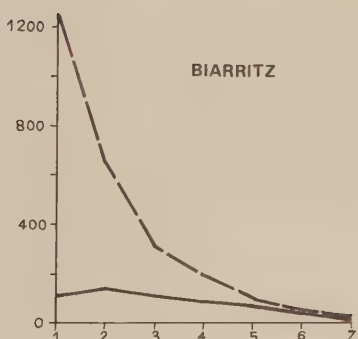
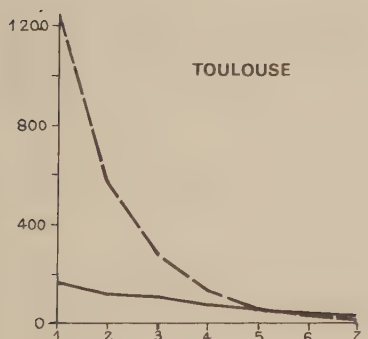
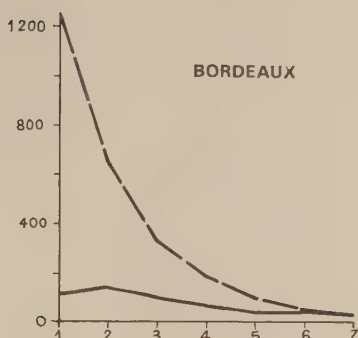
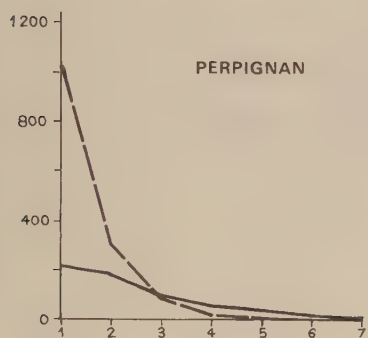
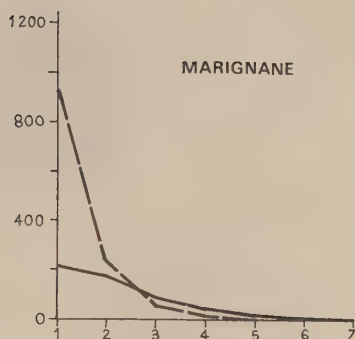
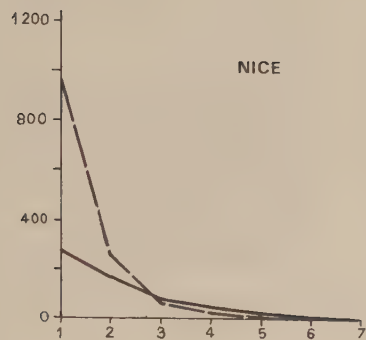


Fig. 1-8 : LES DURÉES MENSUELLES
(ANALYSE DES MOMENTS).





FRÉQUENCES THÉORIQUES --- , OBSERVÉES —

Fig.1-9 : COURBES THÉORIQUES ET OBSERVÉES DES SÉQUENCES PLUVIEUSES
(EFFET DE PERSISTANCE).

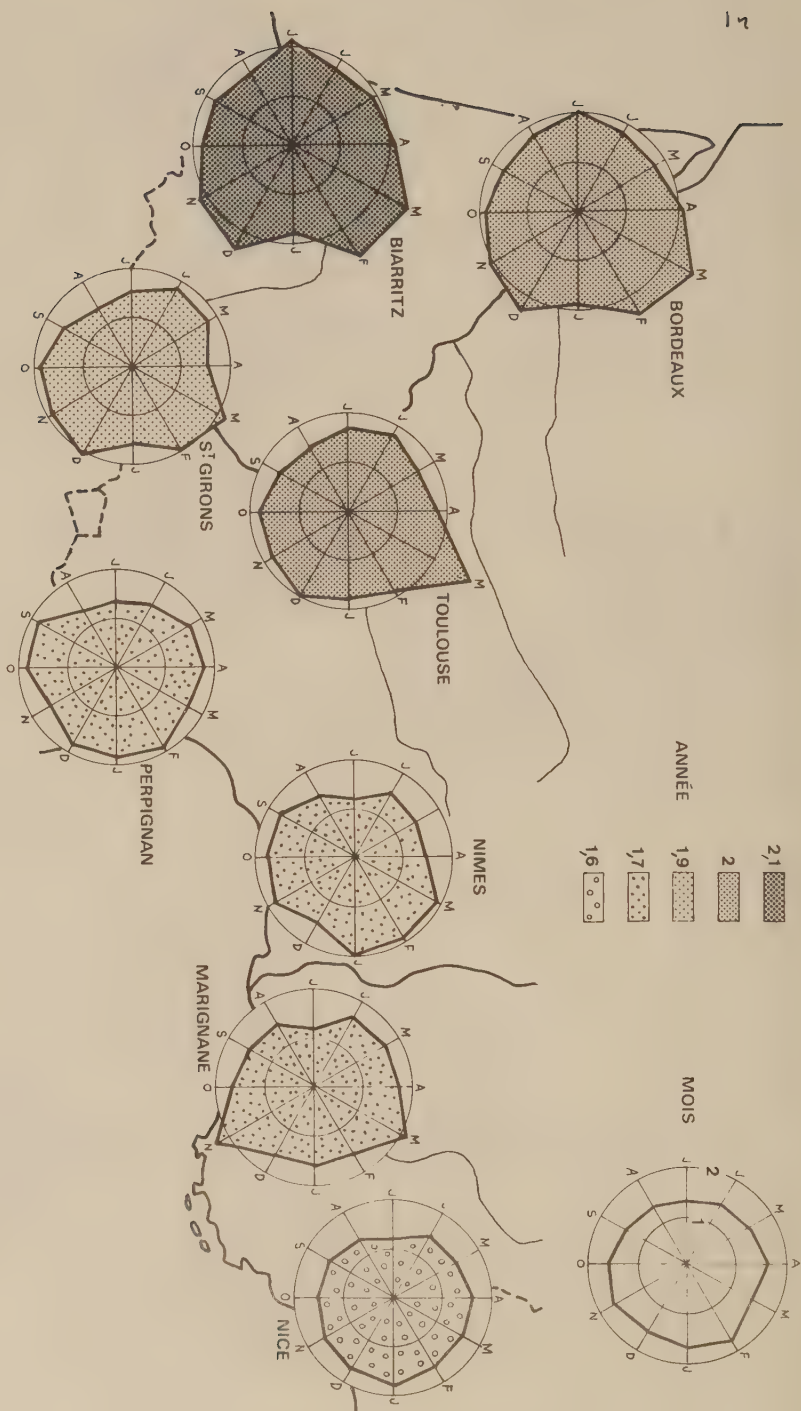


Fig. 1-10 : VALEUR DU COEFFICIENT DE PERSISTANCE.

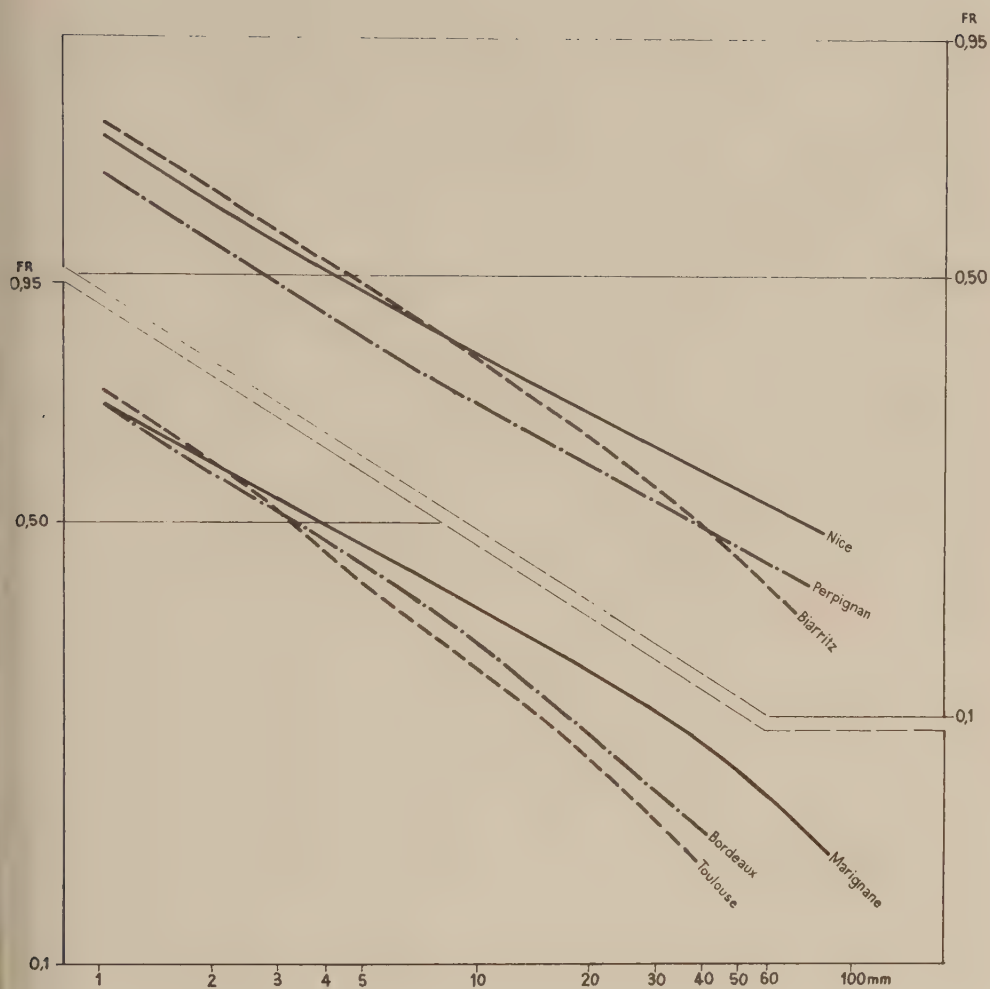


Fig. 2-1: FRÉQUENCES CUMULÉES DES INTENSITÉS JOURNALIÈRES (ANNÉE).

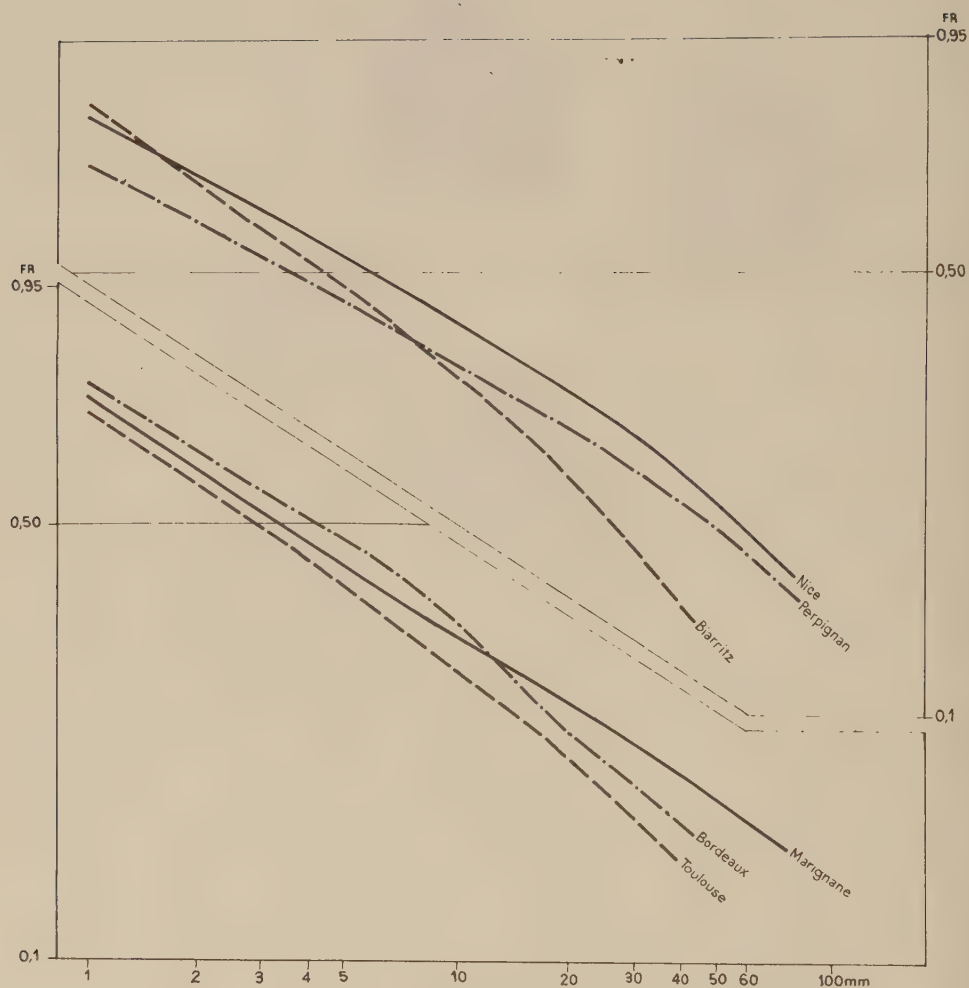


Fig. 2-1: FRÉQUENCES CUMULÉES DES INTENSITÉS JOURNALIÈRES (FÉVRIER).

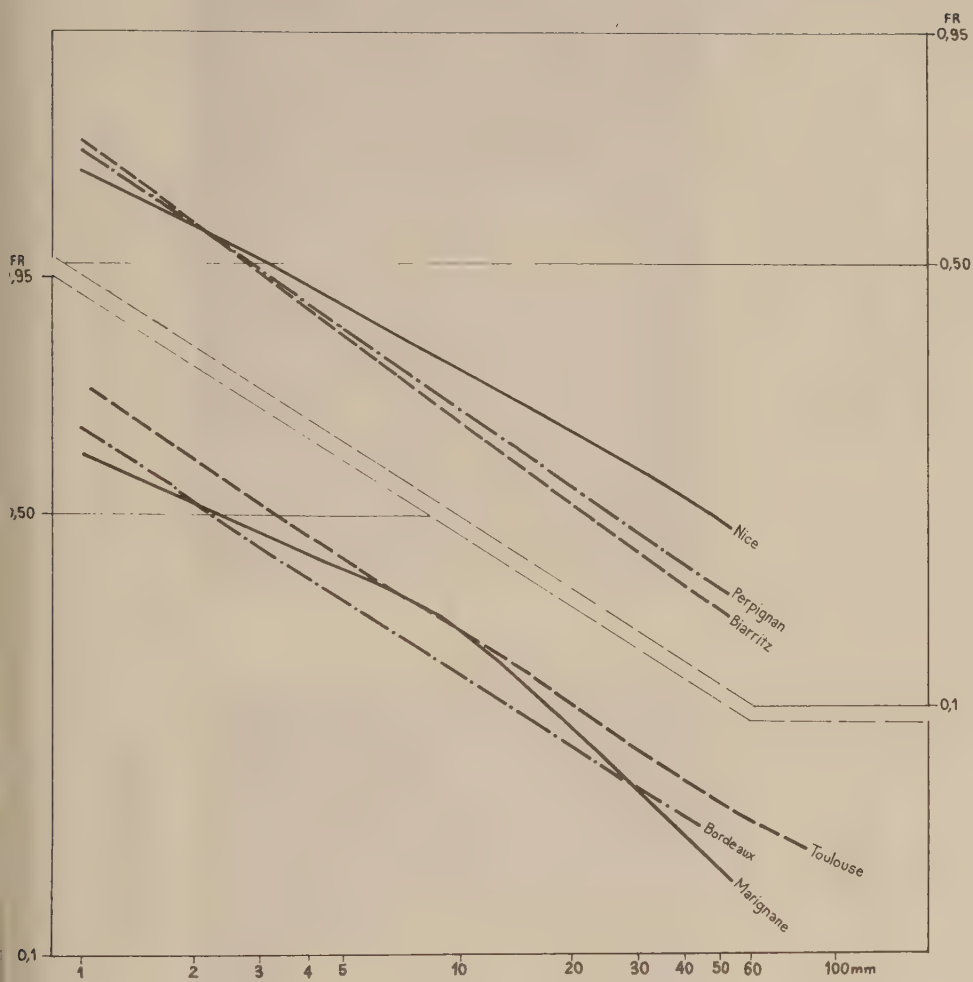


Fig. 2-1: FRÉQUENCES CUMULÉES DES INTENSITÉS JOURNALIÈRES (JUILLET).

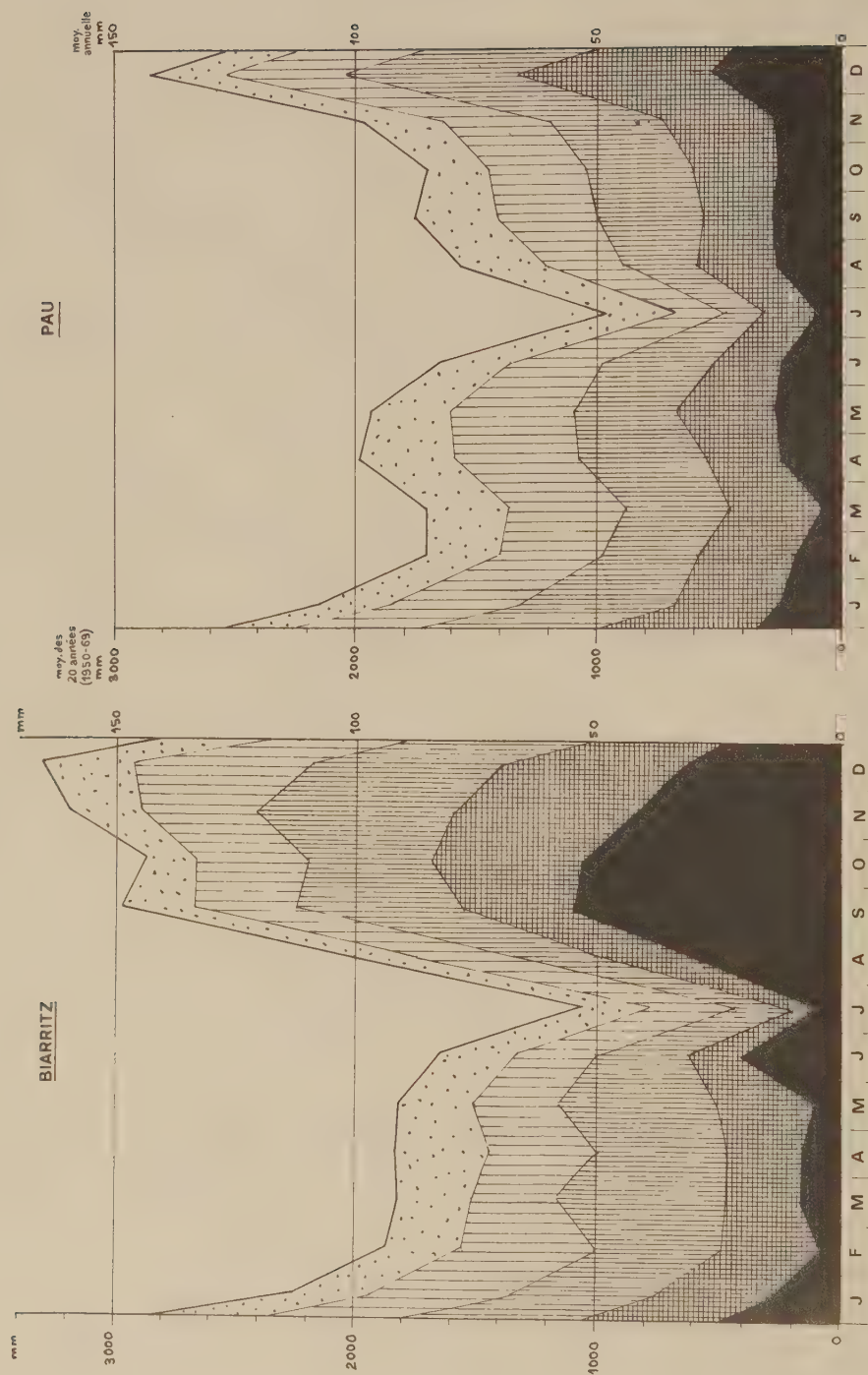


Fig. 2-2: RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE DÉCOMPOSÉ.

CARCASSONNE

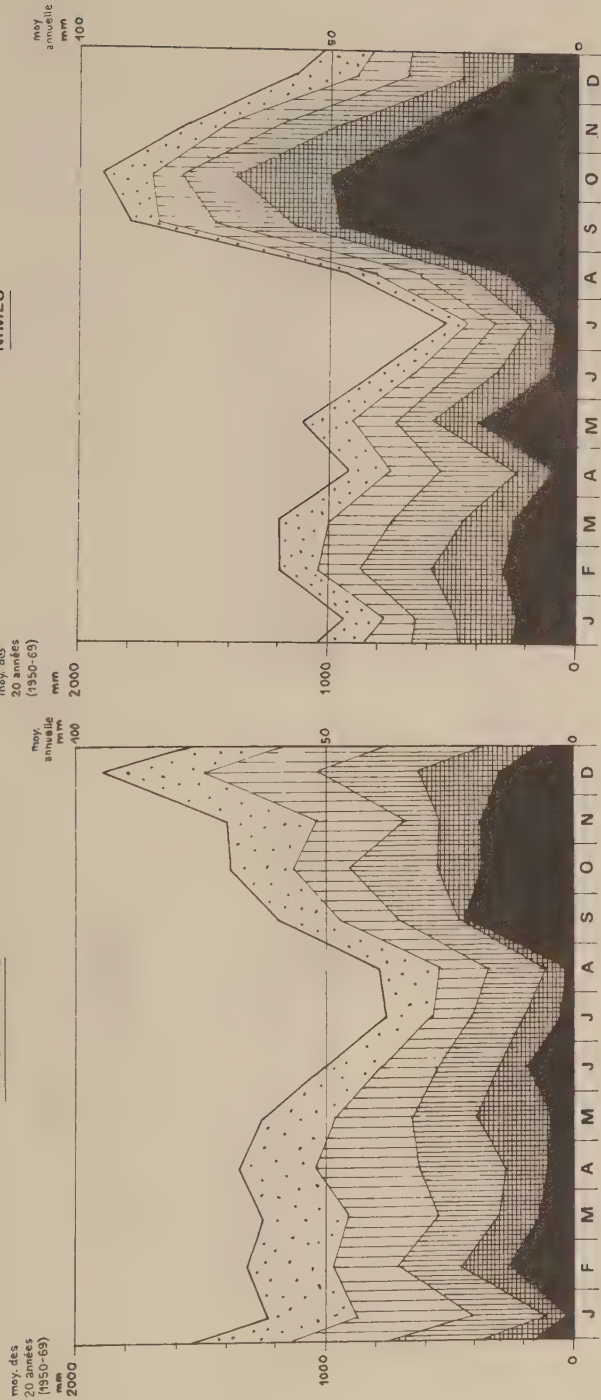
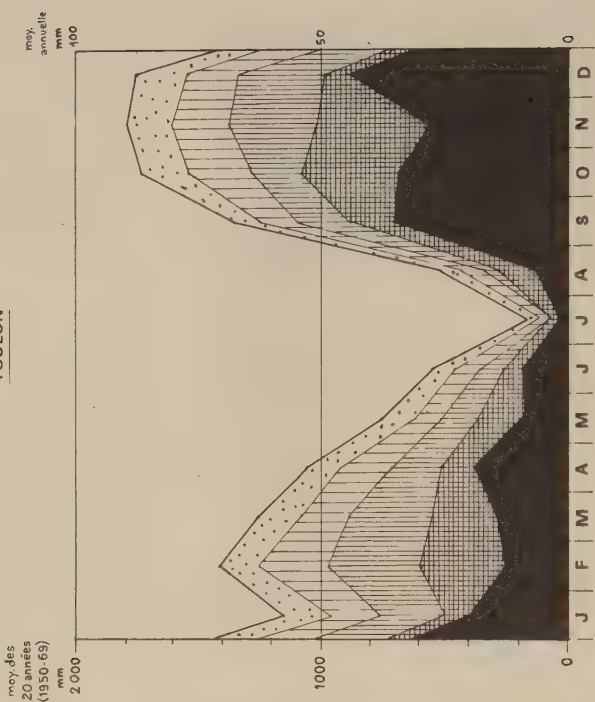


Fig. 2-2 : RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE DÉCOMPOSÉ.

TOULON



MARIGNANE



Fig. 2-2: RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE DÉCOMPOSÉ.

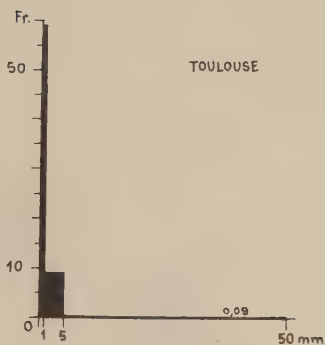
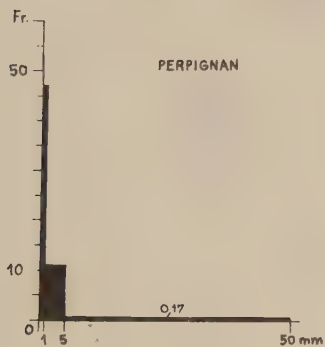
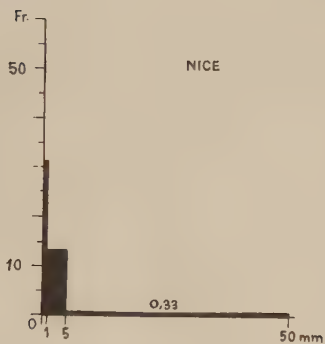
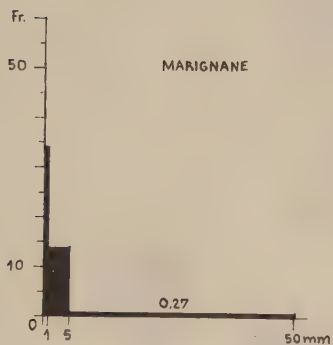
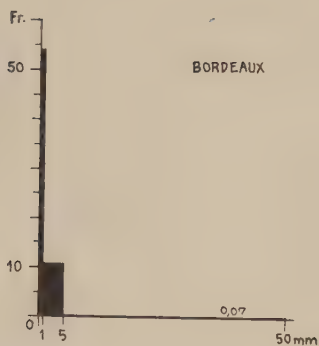
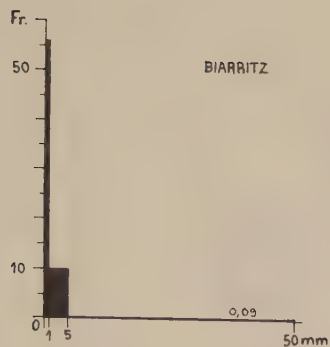


Fig. 2-3: HISTOGRAMME DES TYPES D'INTENSITÉS RÉELLES
(Fréquences relatives-Année).

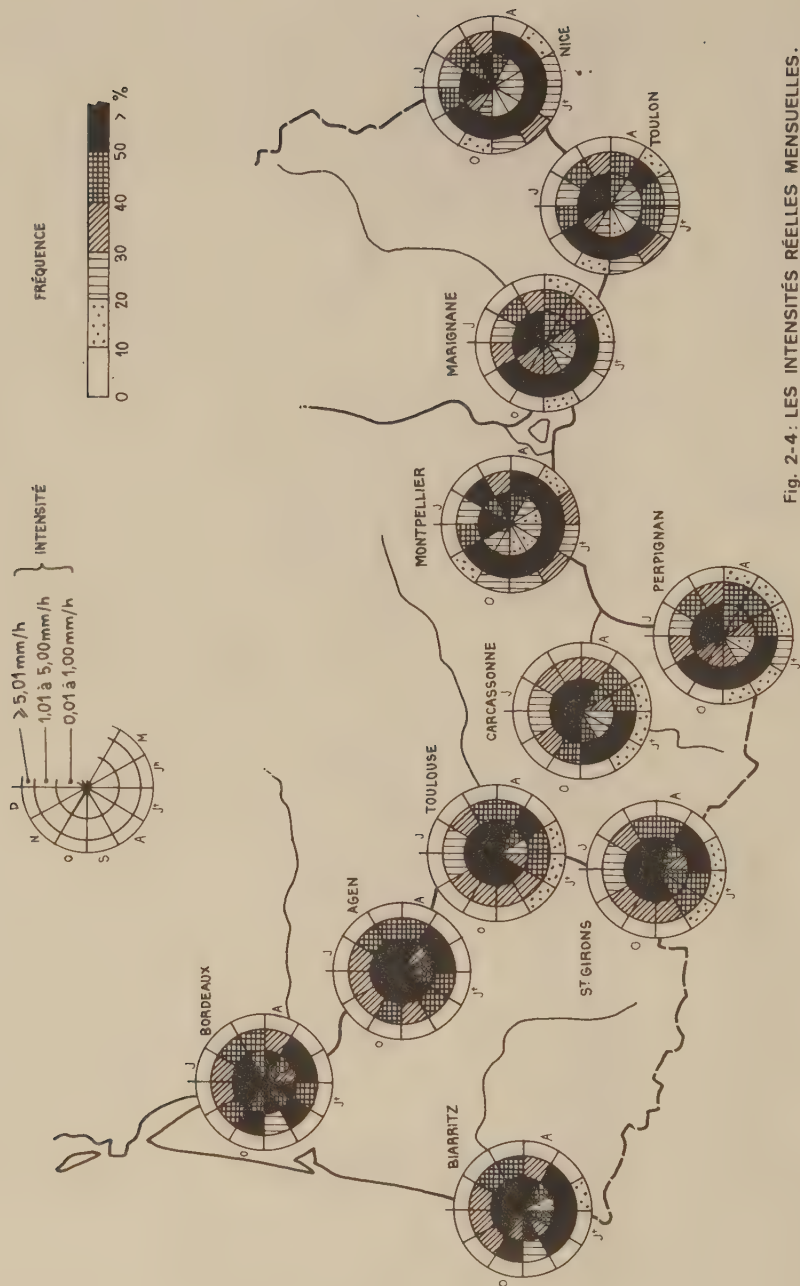


Fig. 2-4: LES INTENSITÉS RÉELLES MENSUELLES.



Fig. 2-5 : INTERQUARTILES MENSUELS DES PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES.

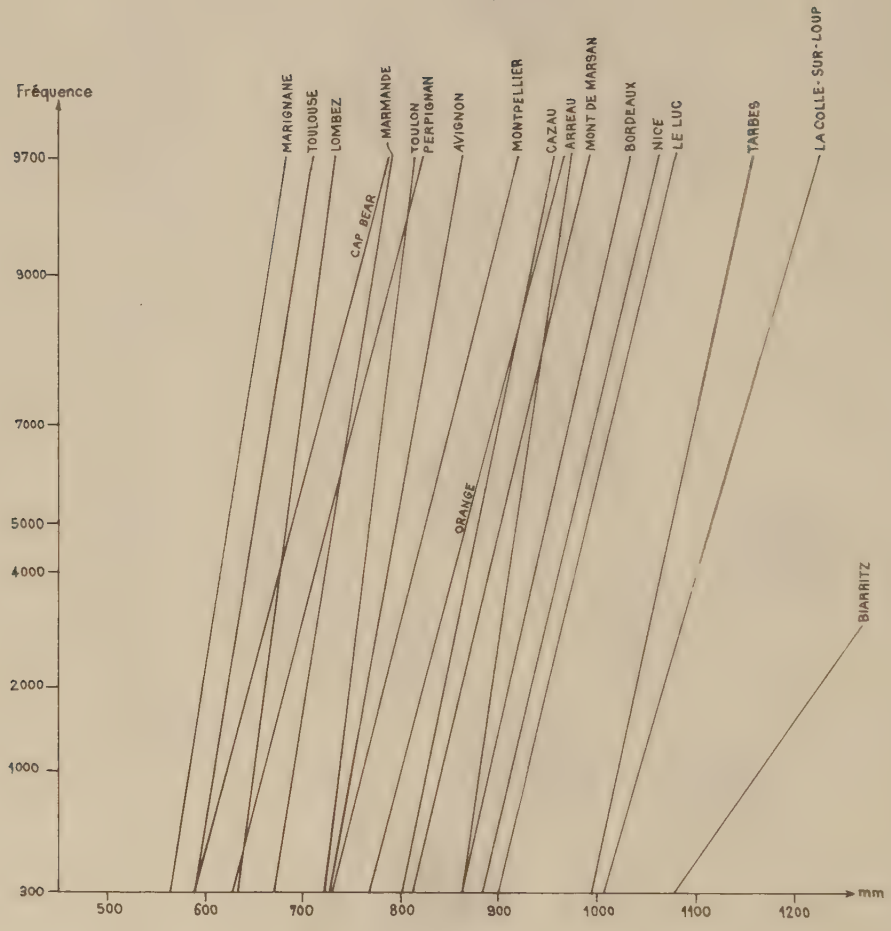


Fig. 3-1: HAUTEURS ANNUELLES AJUSTÉES (LOI DE GAUSS).



Fig. 3-2: LES ESPACES PLUVIOMÉTRIQUES, ANALYSE FACTORIELLE R MODE.



Fig. 3-3: LES ESPACES PLUVIOMÉTRIQUES, ANALYSE FACTORIELLE Q MODE.

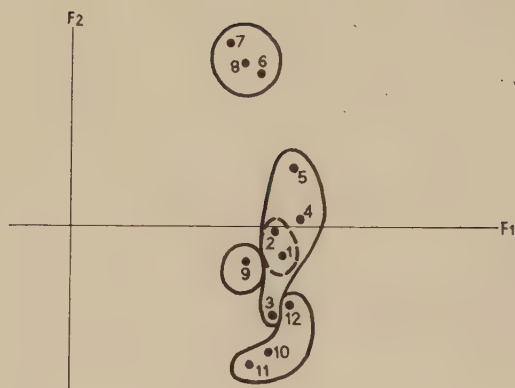


Fig. 3-4: SATURATIONS ENSEMBLE DES MIDIS FRANÇAIS.

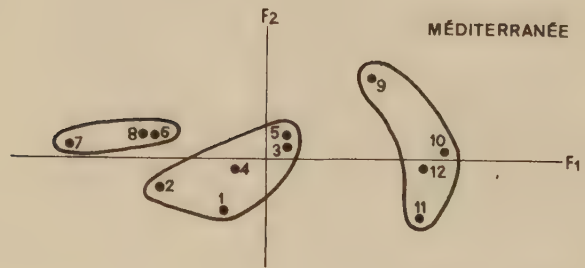
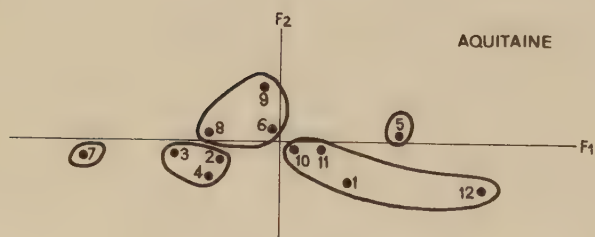


Fig. 3-5: ANALYSE DES SATURATIONS, (échelle des Domaines).



Fig. 3-6 : LES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES PROVINCIAUX.

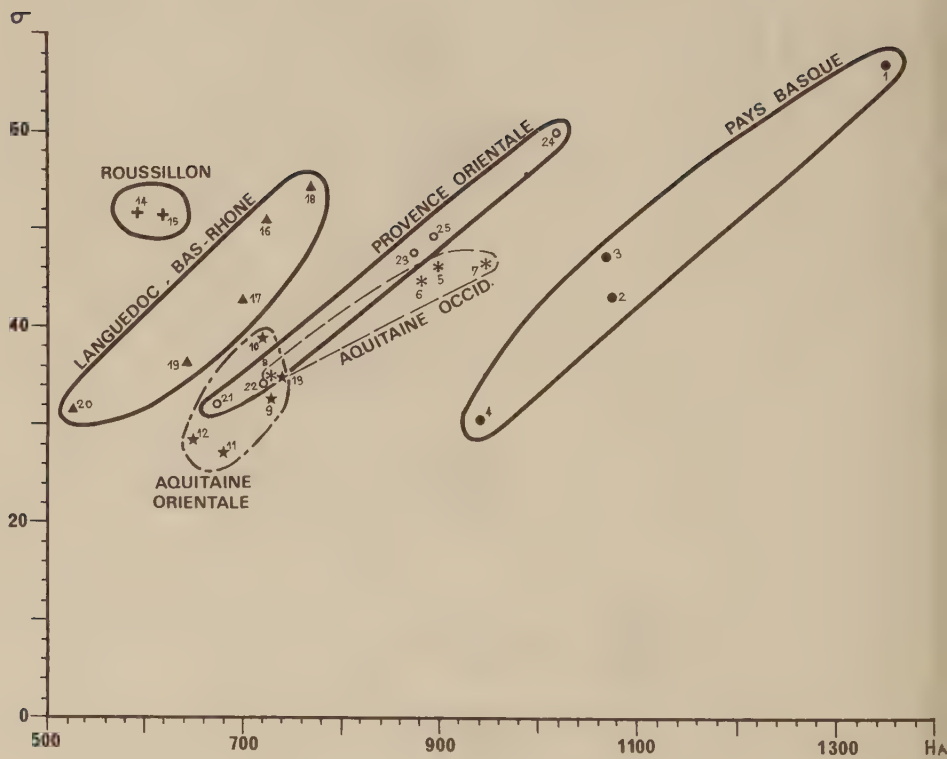


Fig. 4-1 ; HAUTEURS ANNUELLES ET ÉCARTS TYPES.



Fig. 4-2: COÉFFICIENTS DE VARIATIONS ANNUELS (HAUTEURS).

7-

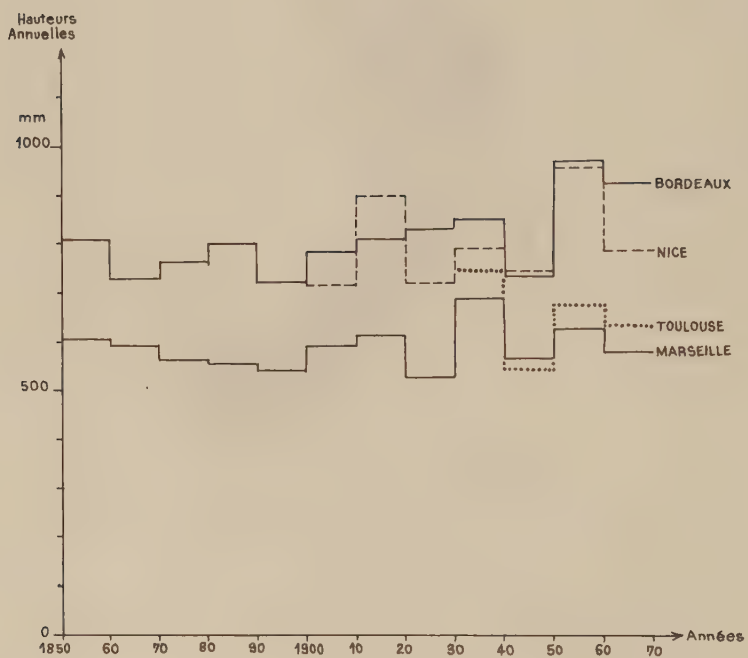


Fig. 4-3 : MOYENNES DÉCADAIRES DES PLUIES ANNUELLES.

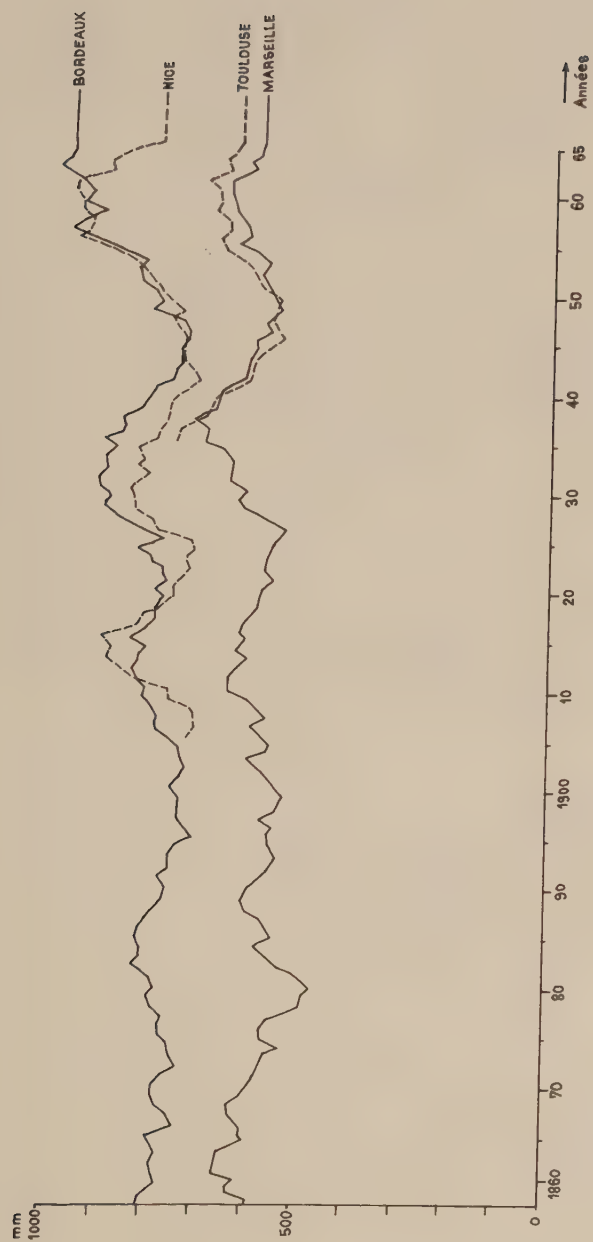


Fig. 4-4 : MOYENNES MOBILES DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES.

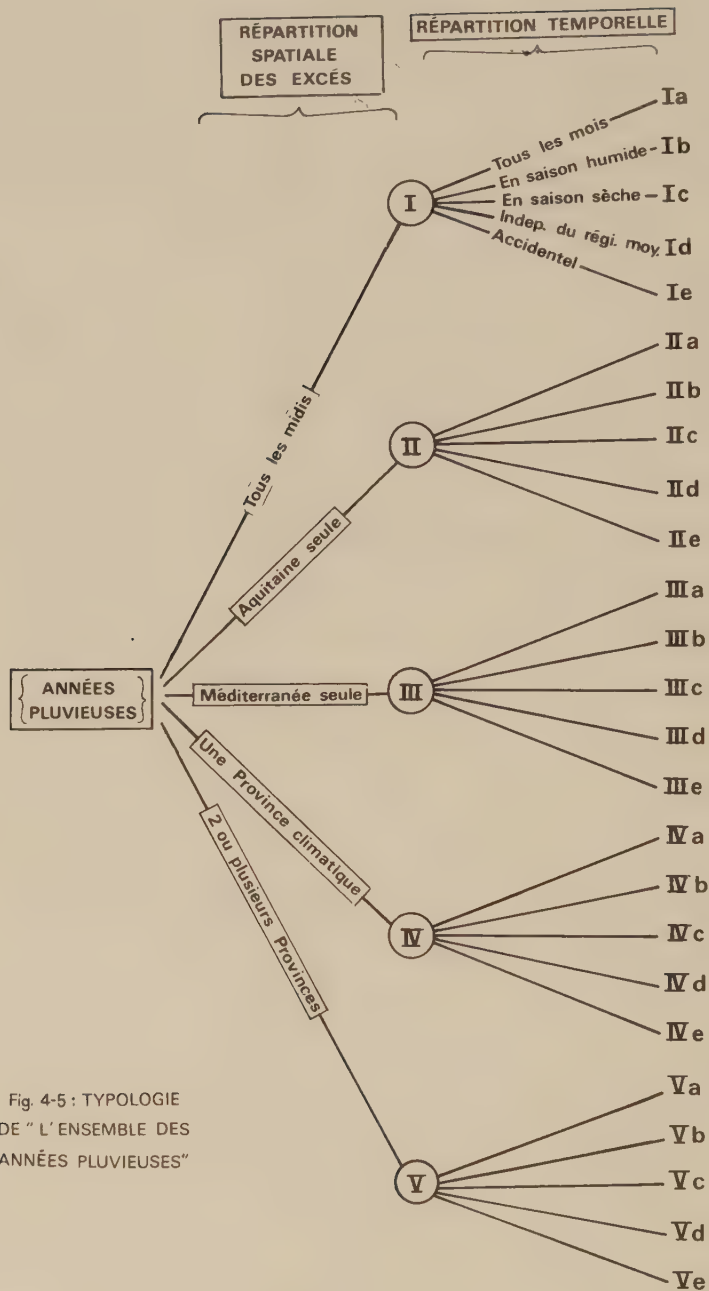


Fig. 4-5 : TYPOLOGIE
DE " L' ENSEMBLE DES
ANNÉES PLUVIEUSES "

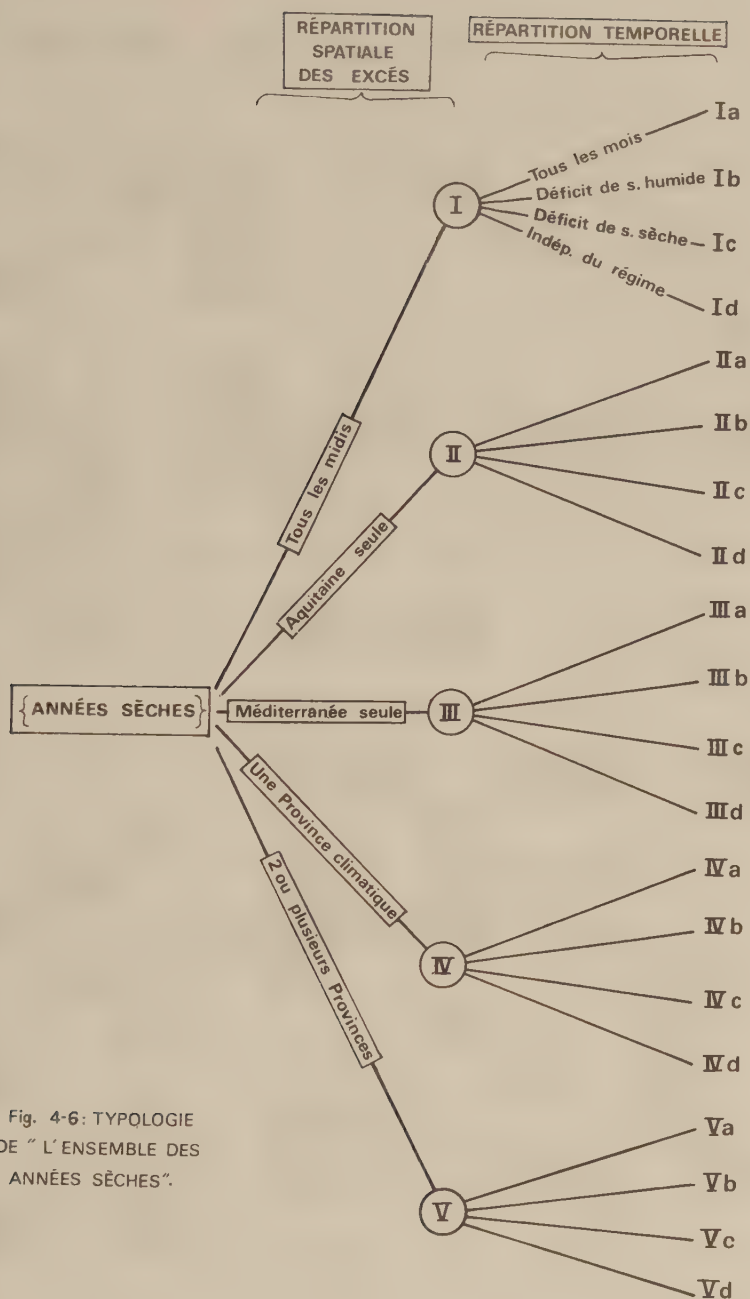


Fig. 4-6: TYPOLOGIE
DE " L'ENSEMBLE DES
ANNÉES SÈCHES".



A) CALENDRIER DES ANNÉES HUMIDES

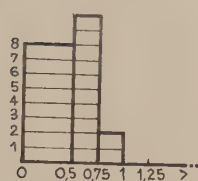
Decennies Années	1851-60	61-70	71-80	81-90	91-00	1901-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	1961-70
1						b			b	d	d	
2			d		e							
3												d
4		e										
5							d					b
6	b	c			d		b	c	d		b	d
7	b							c	b		b	
8					b						c	e
9	b										b	b
10	d					b	b	b			d	

B) CALENDRIER DES ANNÉES SÈCHES

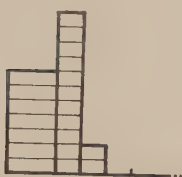
1	c			d	d		b	a				
2						d				d		
3				b	b	c		d				
4	d			d	b	b	c	b	d	b		d
5								d		d	b	
6			b			d				d		
7			a		e							a b c d
8	a		c			d	c	c		b		
9				b						c		
10				b						d		d

Fig. 4-7.

BORDEAUX



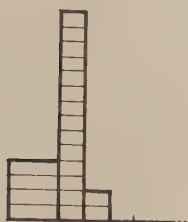
CAZAUX



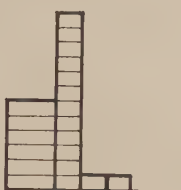
BIARRITZ



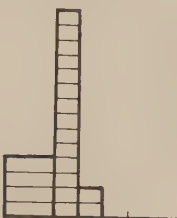
TARBES



ST GIRONS



TOULOUSE



CARCASSONNE



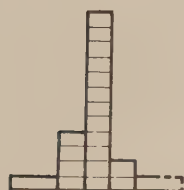
PERPIGNAN



MONTPELLIER



MARIGNANE



TOULON



NICE

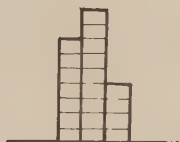


Fig. 4-8 : COEFFICIENTS DE VARIABILITÉ INTERSÉQUENTIELLE.

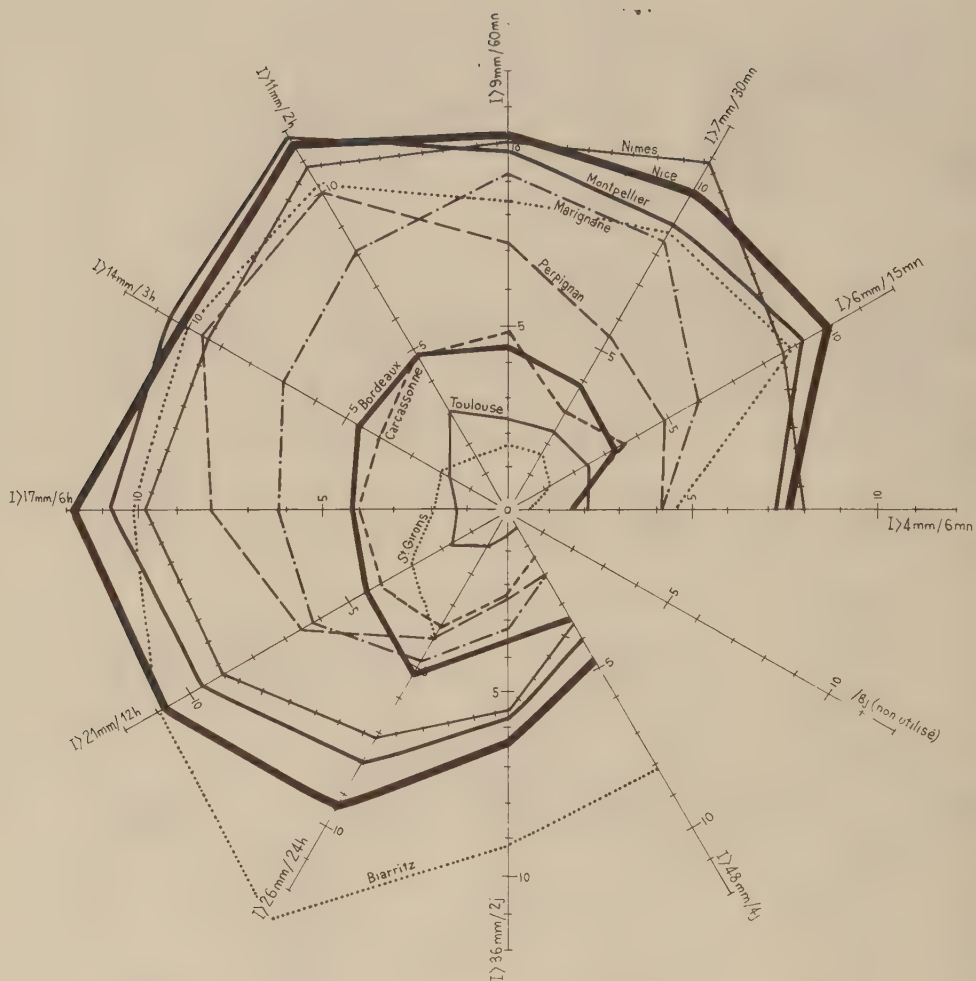
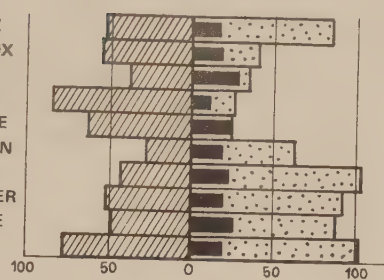
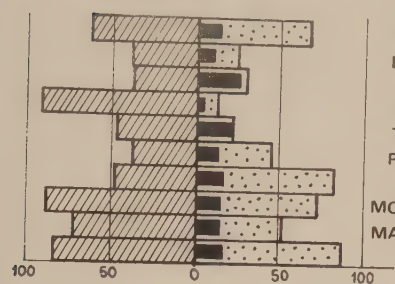


Fig. 5-1 : MOYENNE ANNUELLE DES PLUIES DÉPASSANT CERTAINS SEUILS.

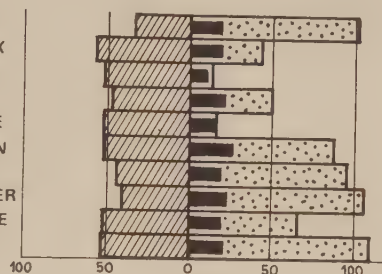
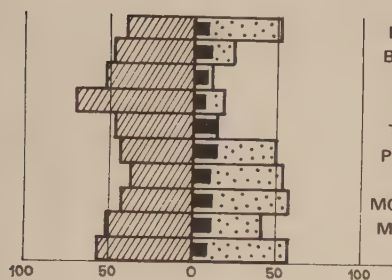
4 mm / 6 mn et 6 mm / 15 mn

7 mm / 30 mn et 9 mm / 1 h



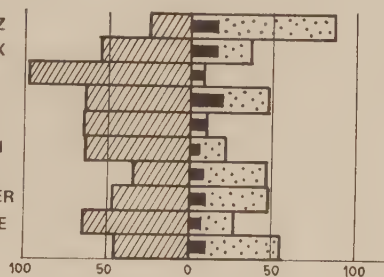
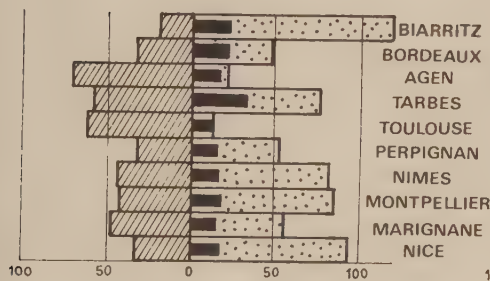
11 mm / 2 h

14 mm / 3 h et 17 mm / 6 h



21 mm / 12 h et 26 mm / 24 h

36 mm / 2 j et 48 mm / 4 j



EFFECTIF TOTAL (Dotted) FRÉQUENCE RELATIVE (Solid) COEF. DE VARIATION (Hatched)

Fig. 5-2 : LES PAROXYSMES, TENDANCES ET VARIABILITÉ.

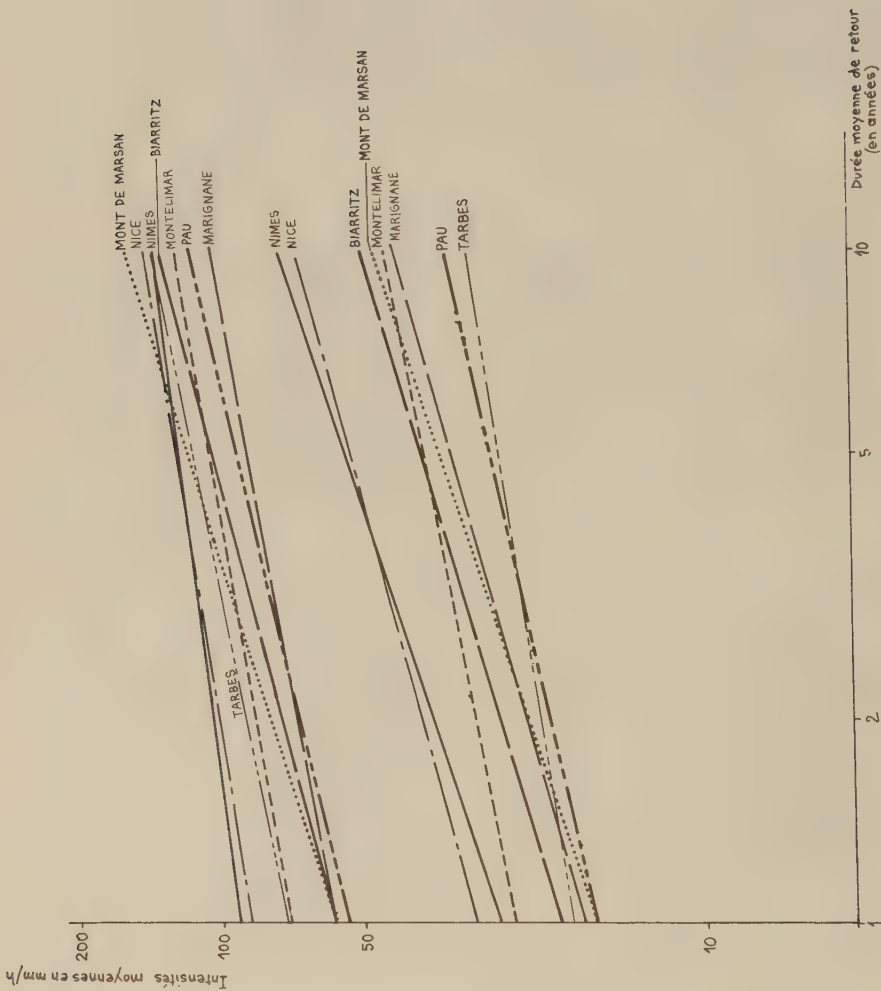


Fig. 5-3: DROITES DE FRÉQUENCE INTENSITÉ-DURÉE (6mm et 1h).

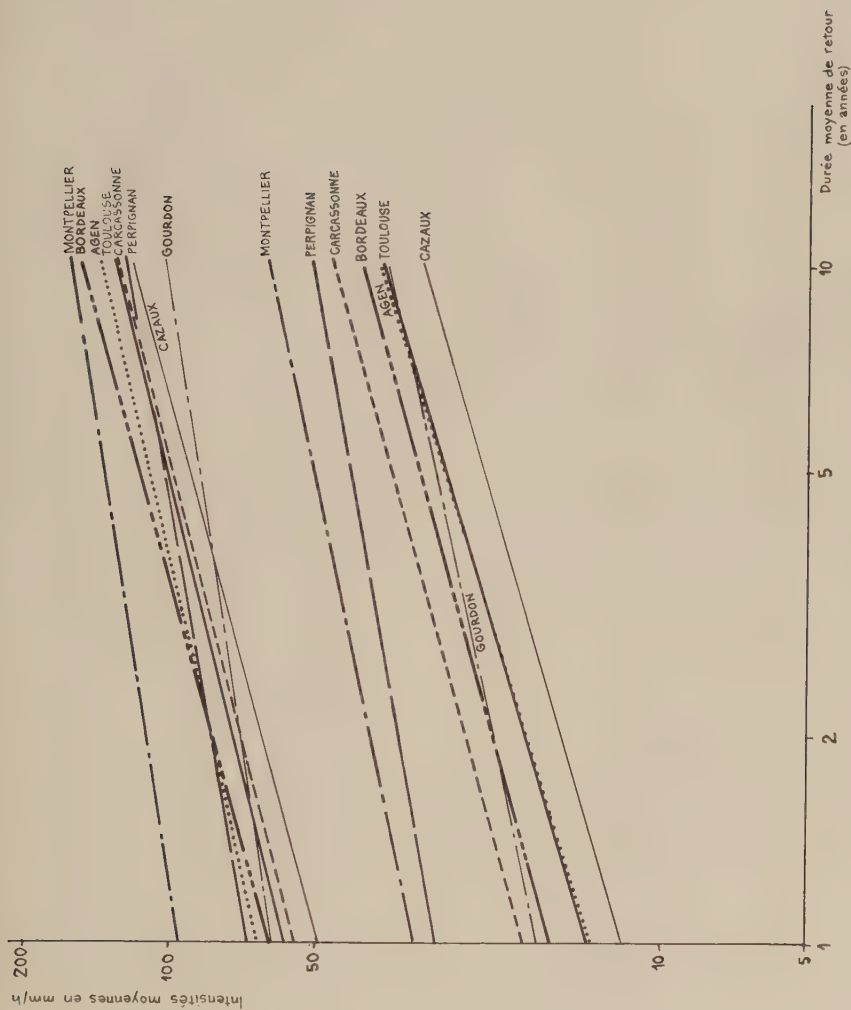


Fig. 5.3: DROITES DE FRÉQUENCE INTENSITÉ-DURÉE (6 mn et 1h).

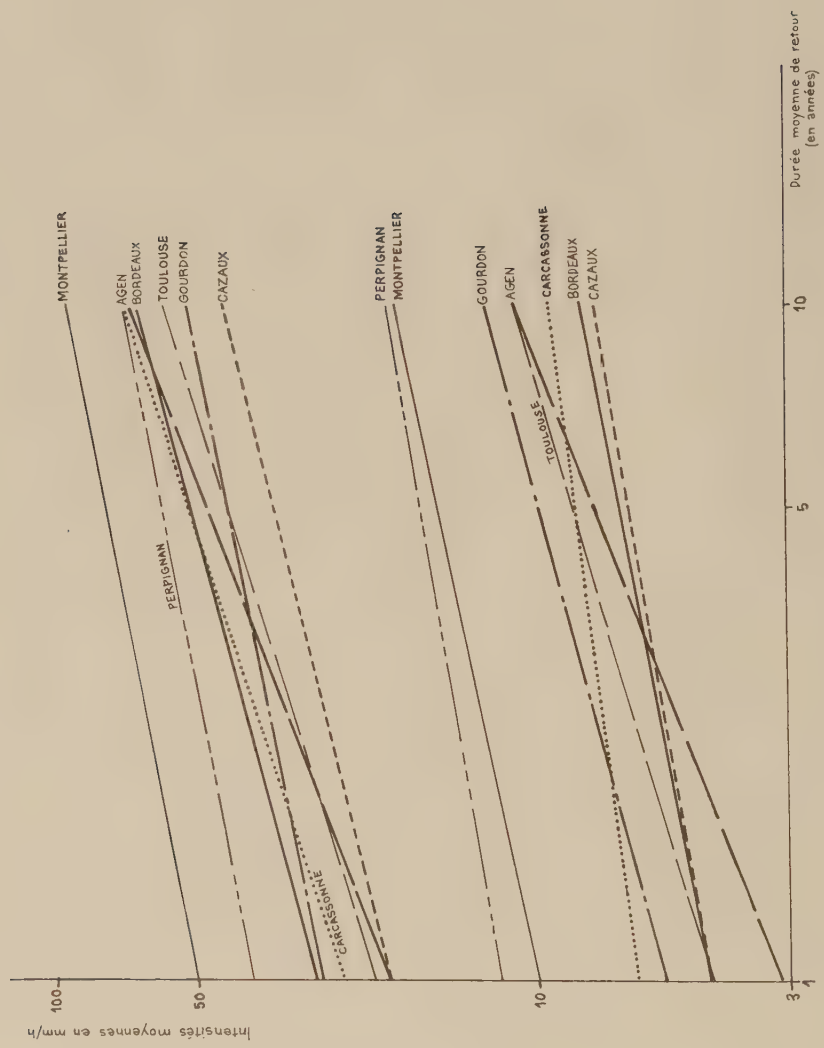


Fig. 5-3: DROITES DE FRÉQUENCE INTENSITÉ-DURÉE (30 mn et 6h).

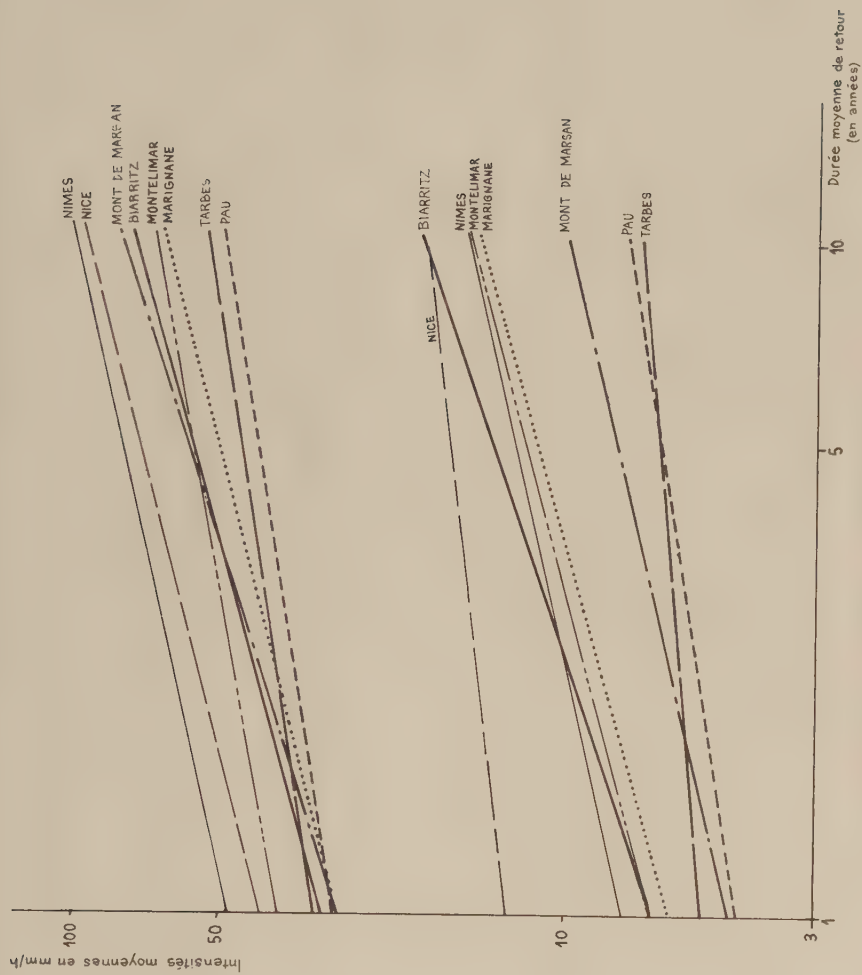


Fig. 5-3: DROITES DE FRÉQUENCE INTENSITÉ-DURÉE (30 mm et 6h).

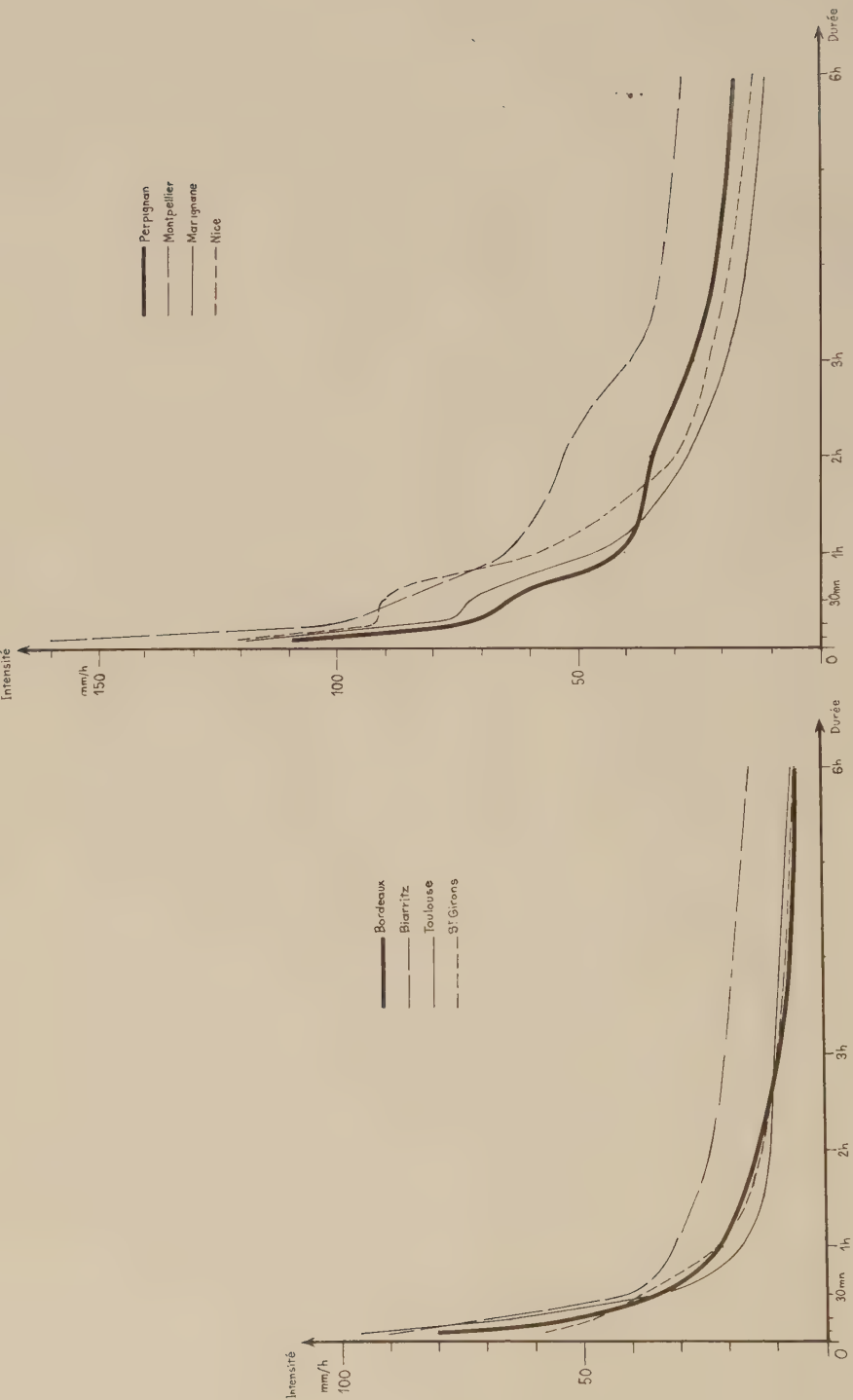
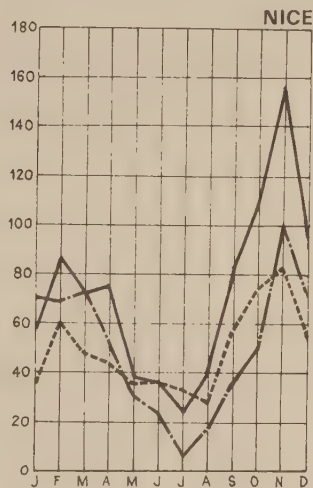
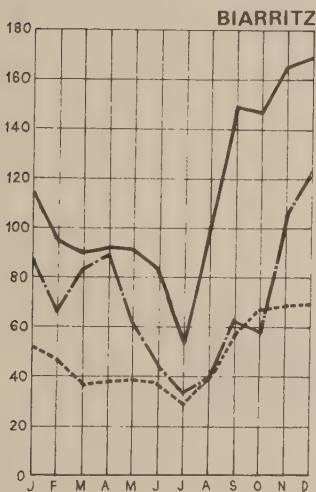
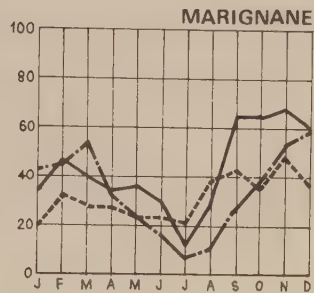
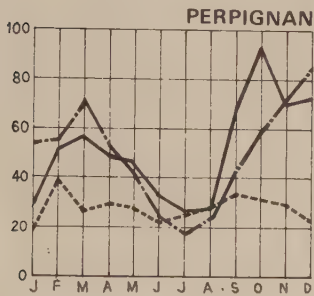
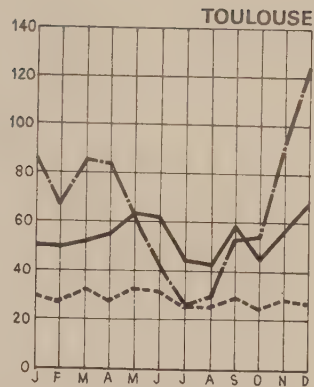
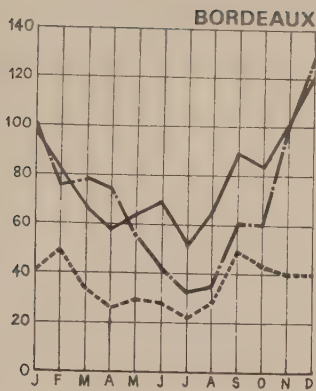


Fig. 5-4: INTENSITÉ - DURÉE MAXIMUM (1966-70).



Durée (moyenne mensuelle en heures)

Hauteur moyenne (mm)

Intensité médiane (1/10 mm)

Fig. 7-1 : LES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES.

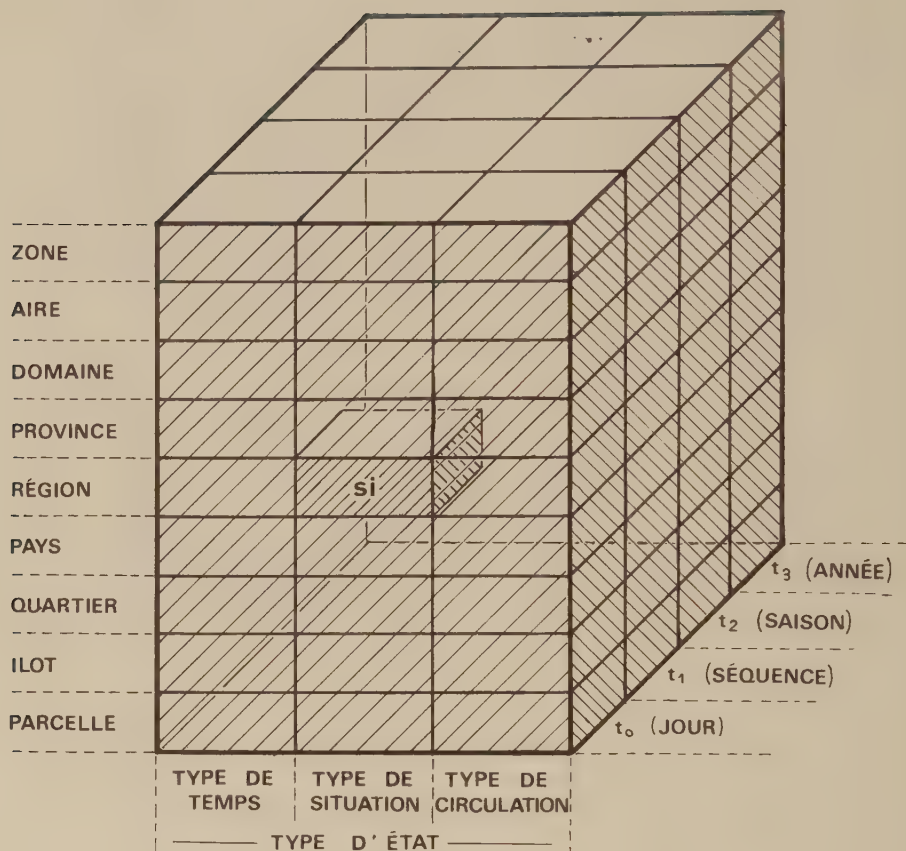
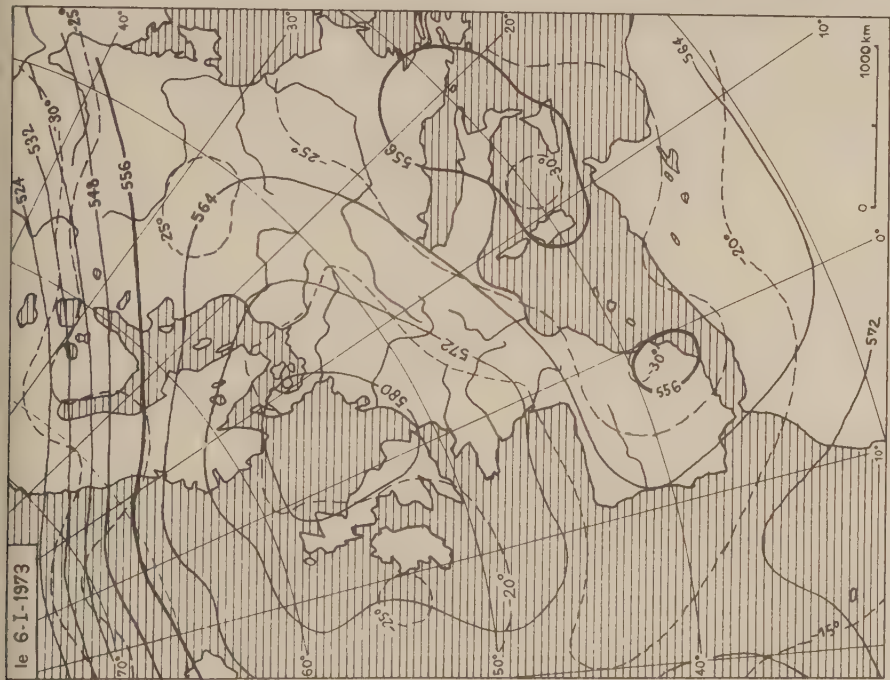


Fig. 9-0 : ÉCHELLES MÉTHODOLOGIQUES,
SPATIALES ET TEMPORELLES, ET DÉFINITIONS



a b c d e f g h i j k l m n o p q r s
1 2 4 1 4 2 6 7 6 6 2 4 2

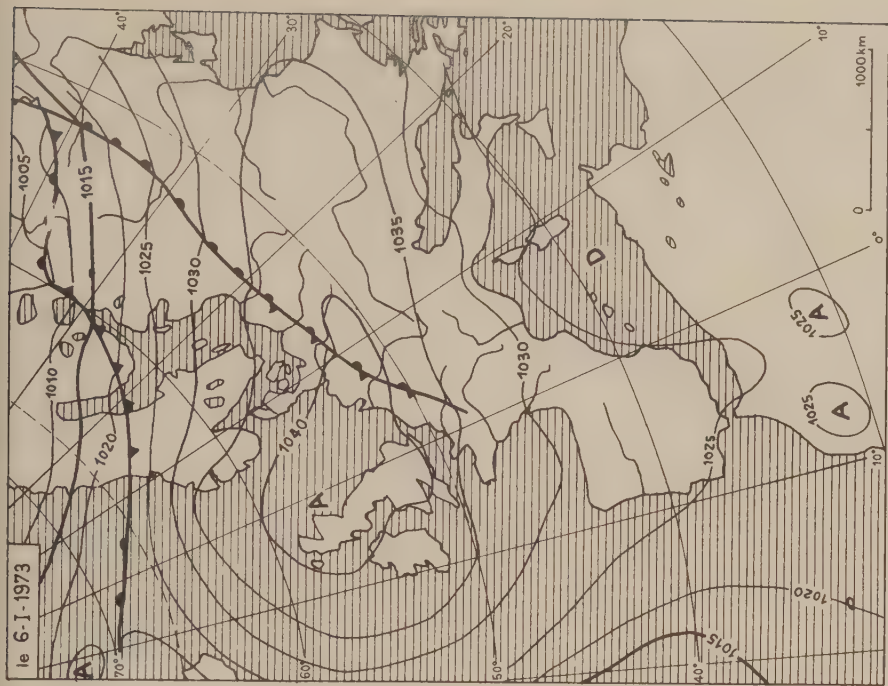
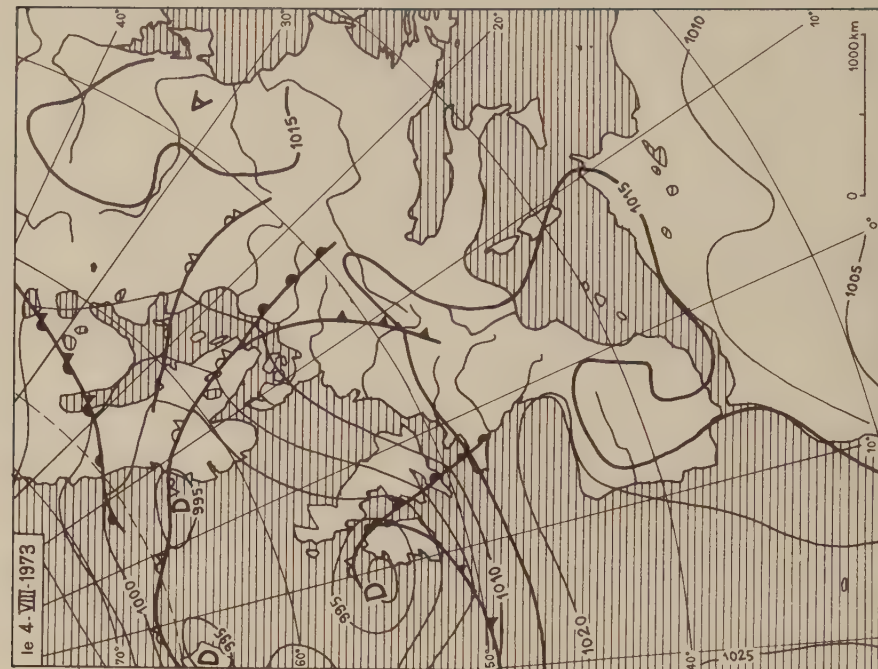
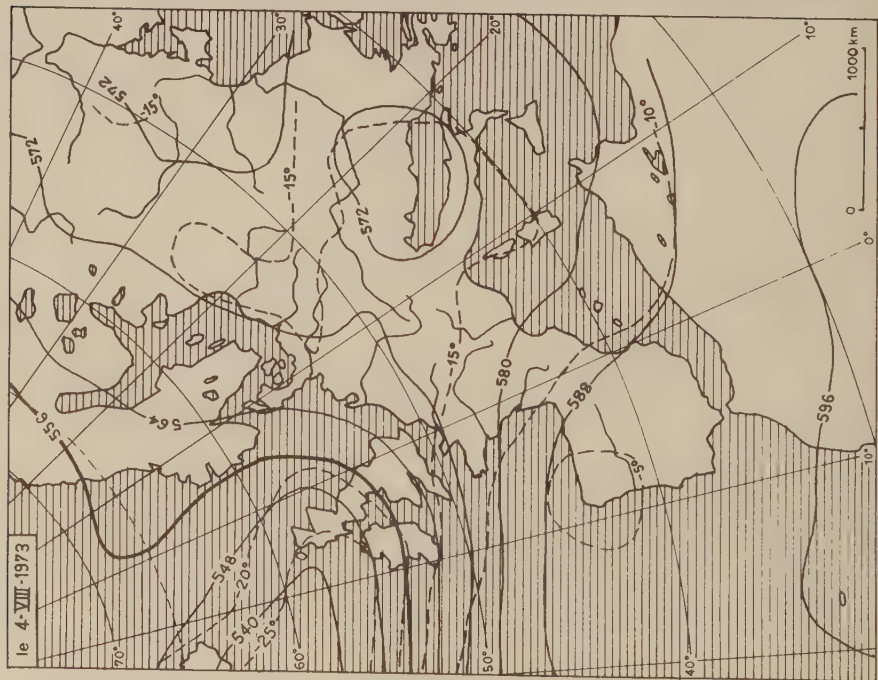


Fig. 9-1 : 6-I-73, CLASSE UN.

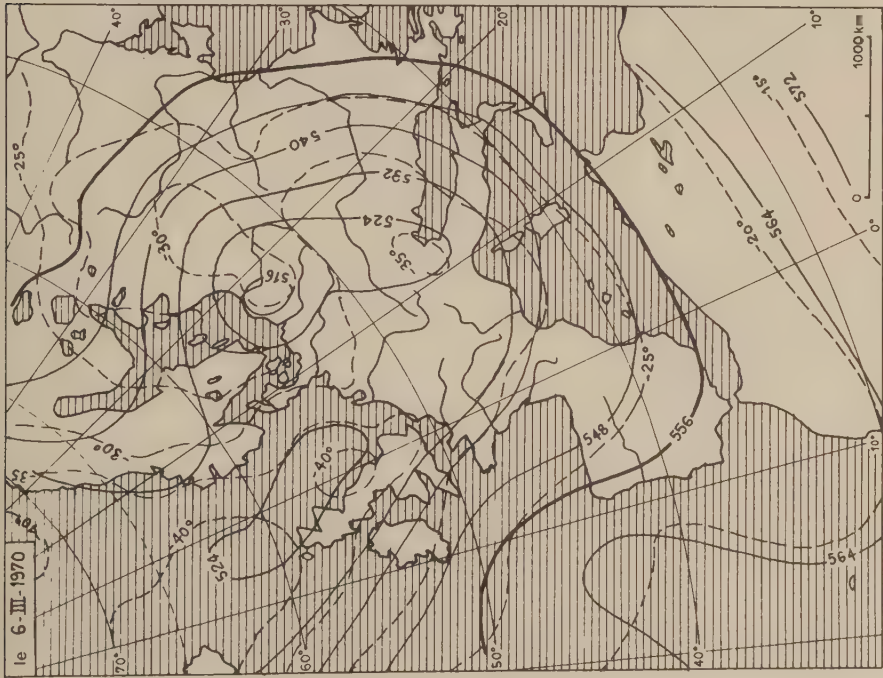


SURFACE 500 mb à 0h TU

SITUATION GÉNÉRALE à 18h TU

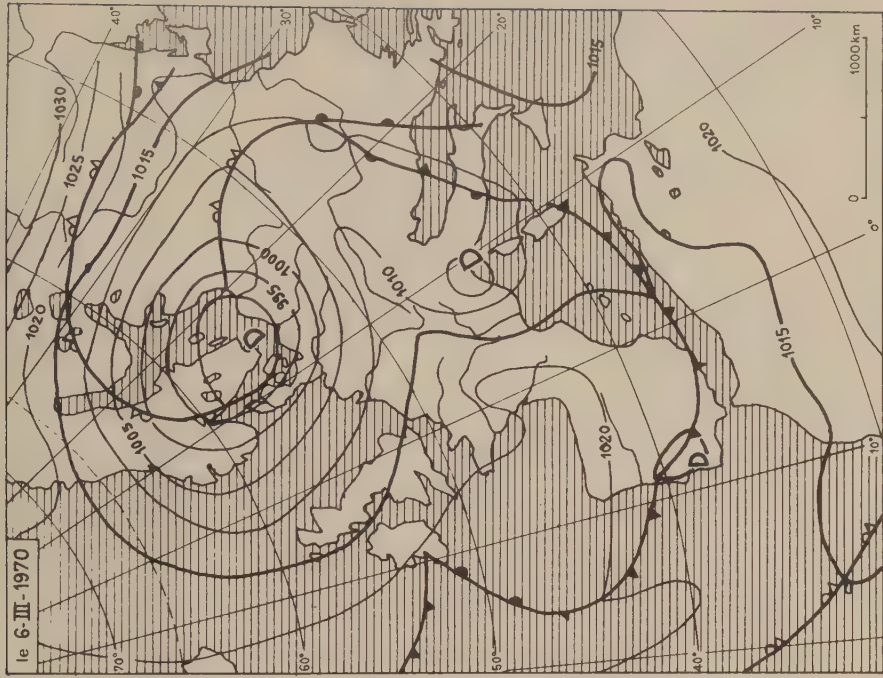
a b c j k l m n o p q r s
1 2 1 6 1 2 6 7 6 6 2 2 3

Fig. 9-2 : 4-VIII-73, CLASSE DEUX.



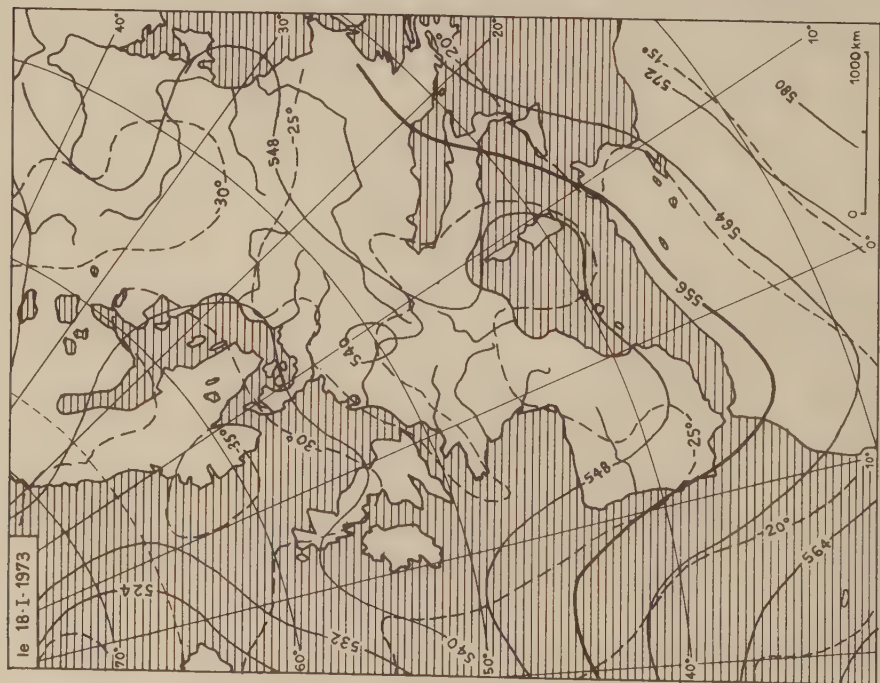
SURFACE 500 mb à 0 h TU

a b c j k l m n o p q r s
2 2 1 1 1 2 6 7 6 6 1 4 3



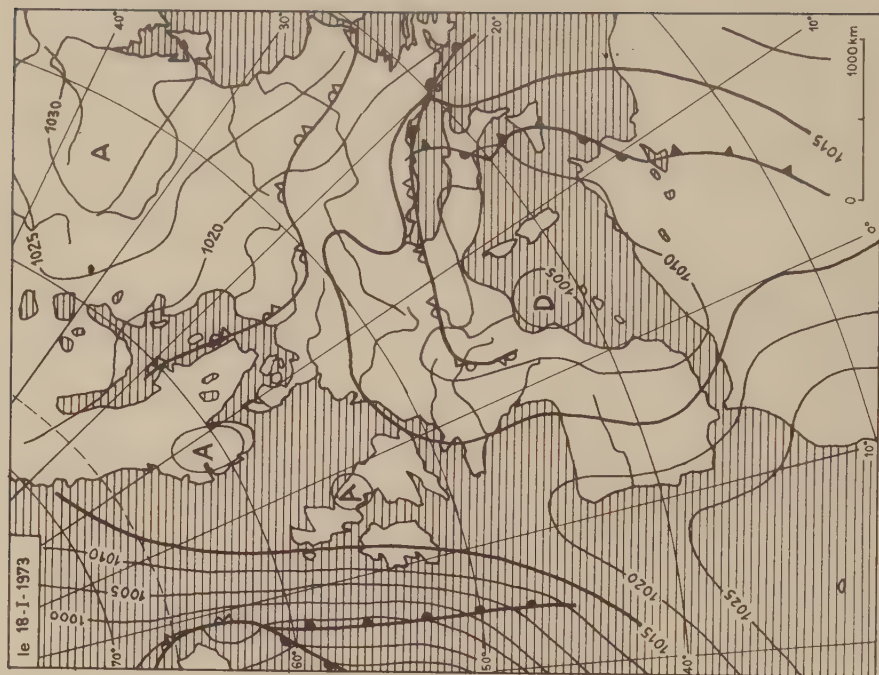
SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 9-3 : 6-III-70, CLASSE TROIS.



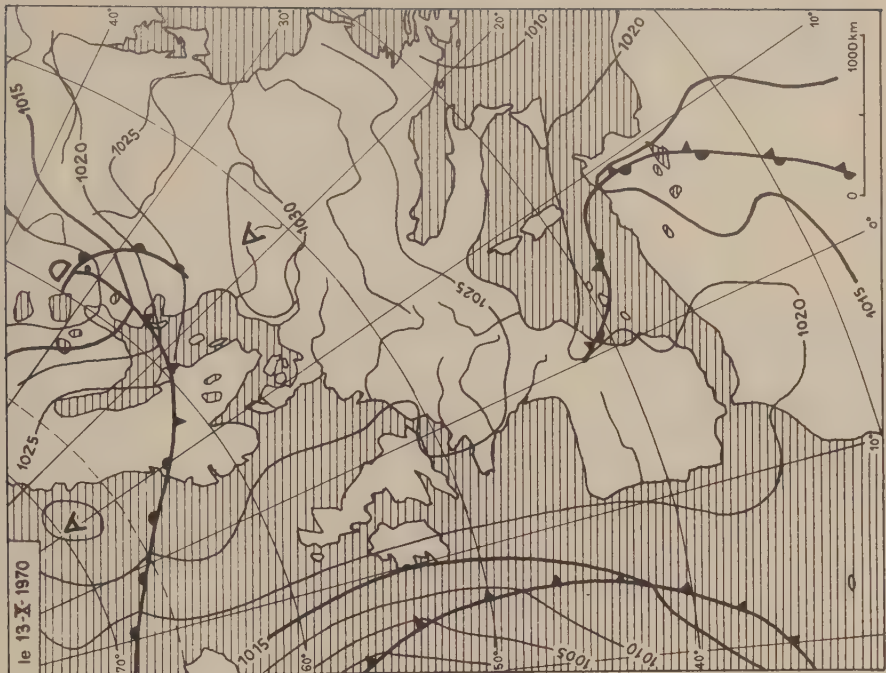
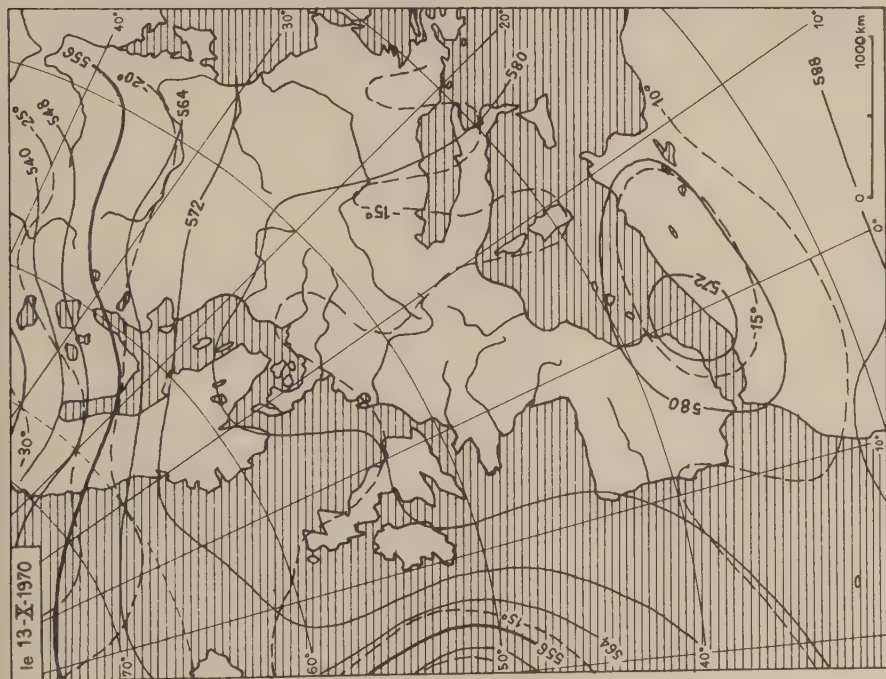
SURFACE 500 mb à 0 h TU

a b c j k l m n o p q r s
2 2 1 4 4 1 2 6 4 5 2 3 2



SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 9-4 : 18-I-74, CLASSE QUATRE.

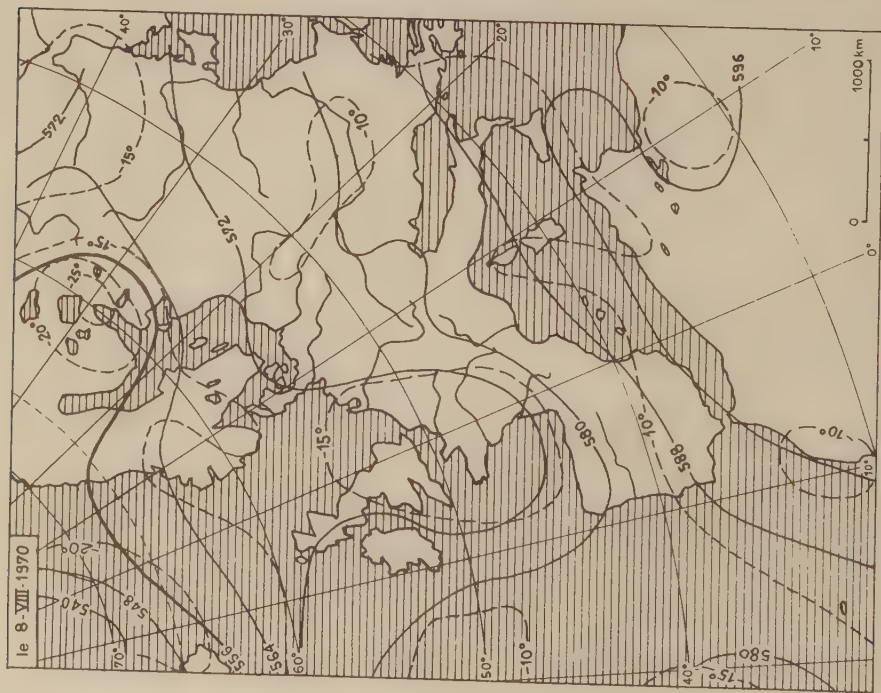


SURFACE 500 mb à 0 h TU

SITUATION GÉNÉRALE à 8 h TU

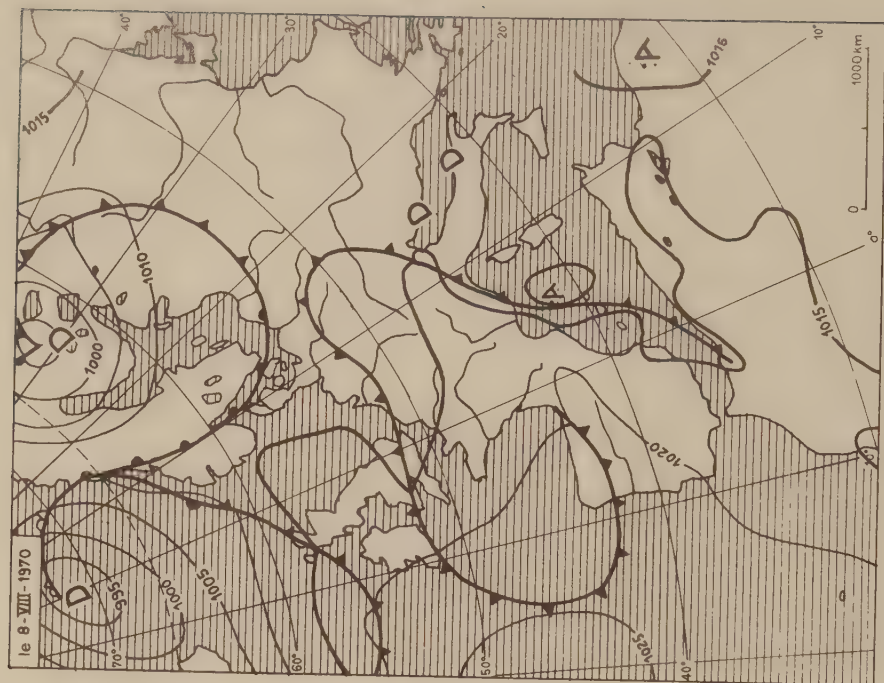
a b c j k l m n o p q r s
1 2 5 2 1 2 6 7 6 6 2 5 4

Fig. 9-5 : 13-X-70, CLASSE CINQ.



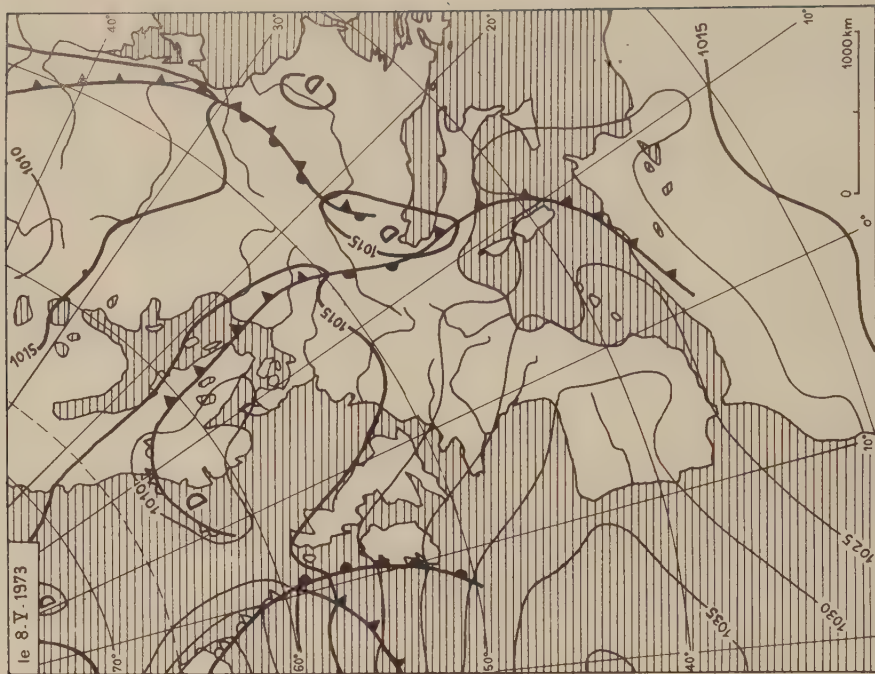
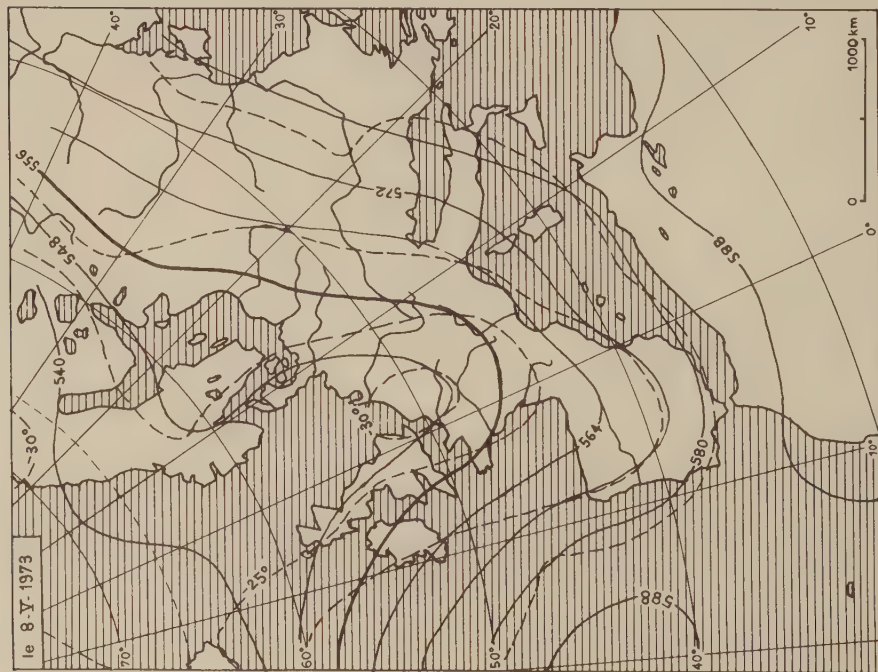
SURFACE 500 mb à 0 h TU

a	b	c	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	2	3	1	1	4	6	3	2	2	2	2	3



SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 9-6 : 8-VIII-70, CLASSE SIX.

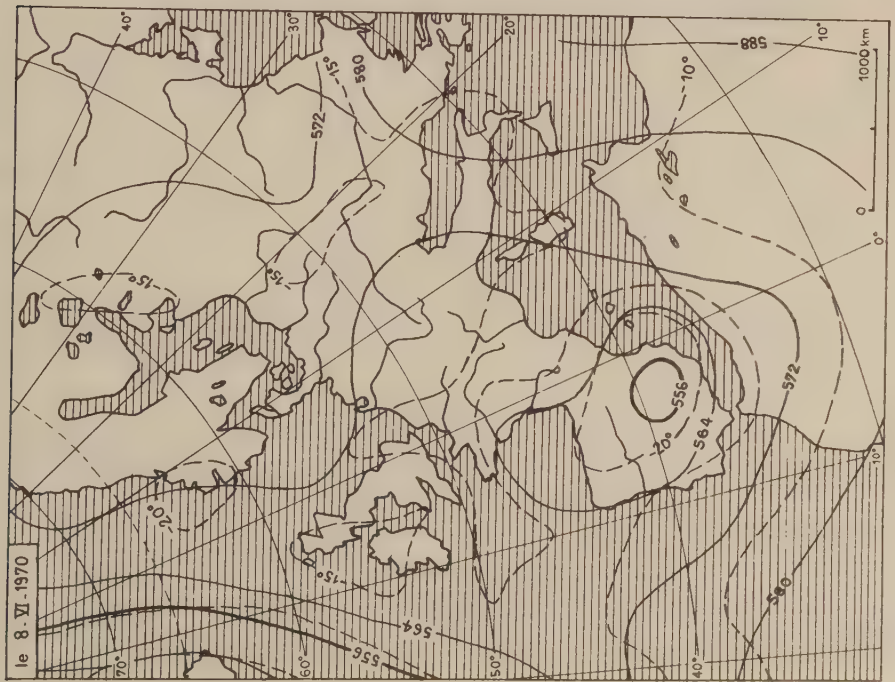


SURFACE 500 mb à 0 h TU

SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

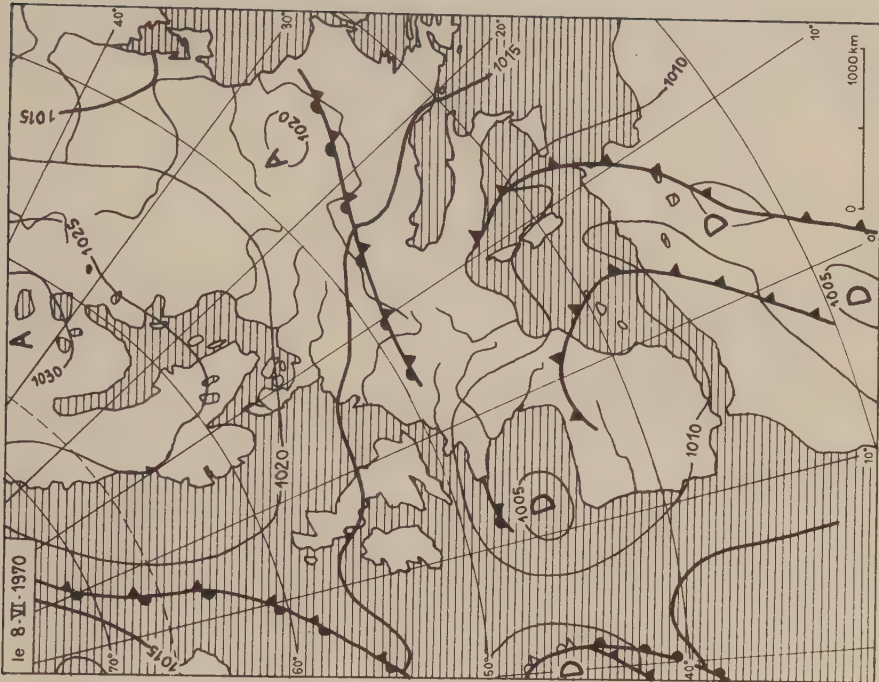
a b c j k l m n o p q r s
1 2 1 1 1 2 6 6 1 4 3

Fig 9-10 : 8-Y-73. CLASSE DIX.



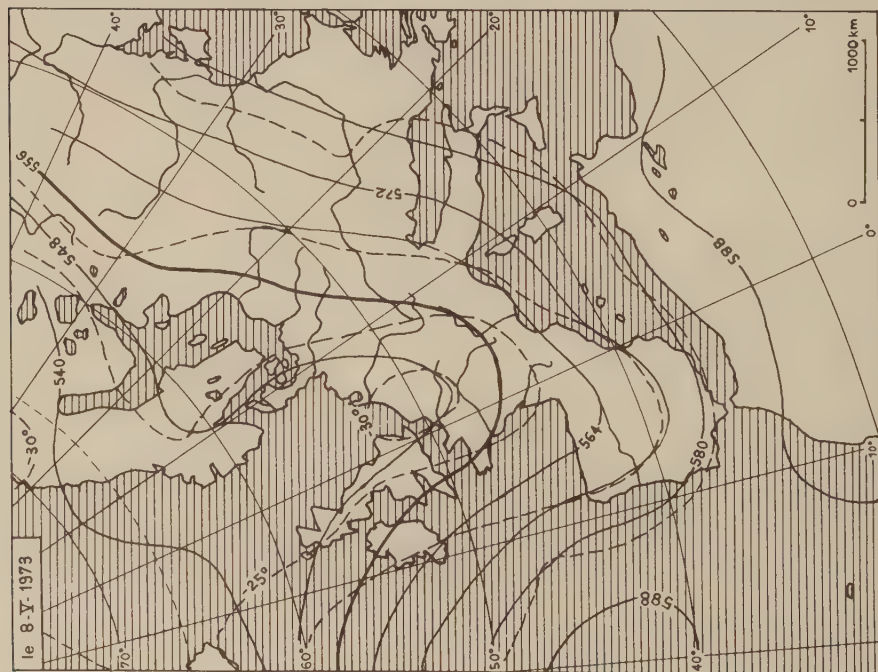
SURFACE 500 mb à 0 h TU

a b c j k l m n o p q r s
1 2 3 4 4 1 3 1 3 3 2 2 2 2



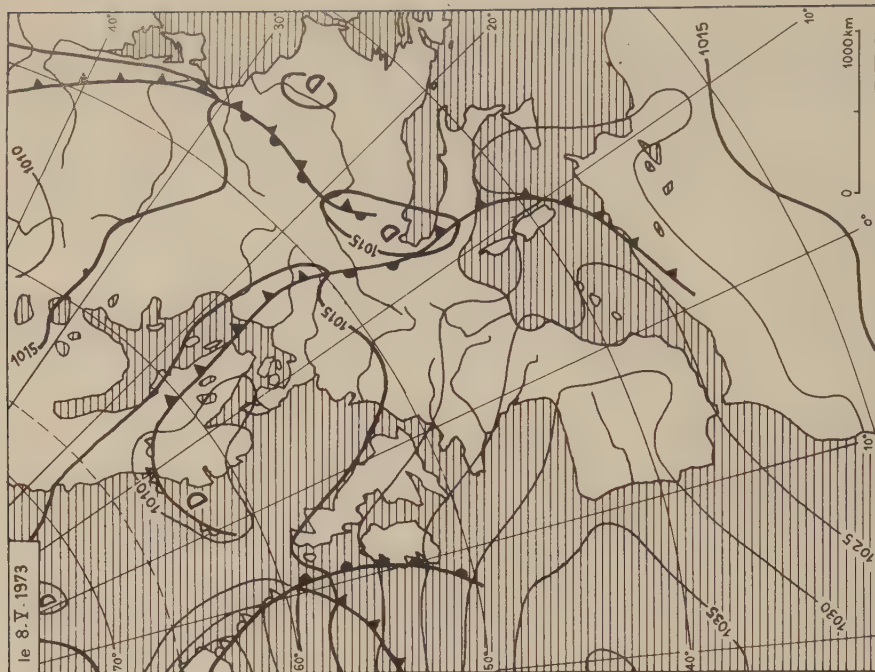
SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 9-11 : 8-VI-70, CLASSE ONZE.



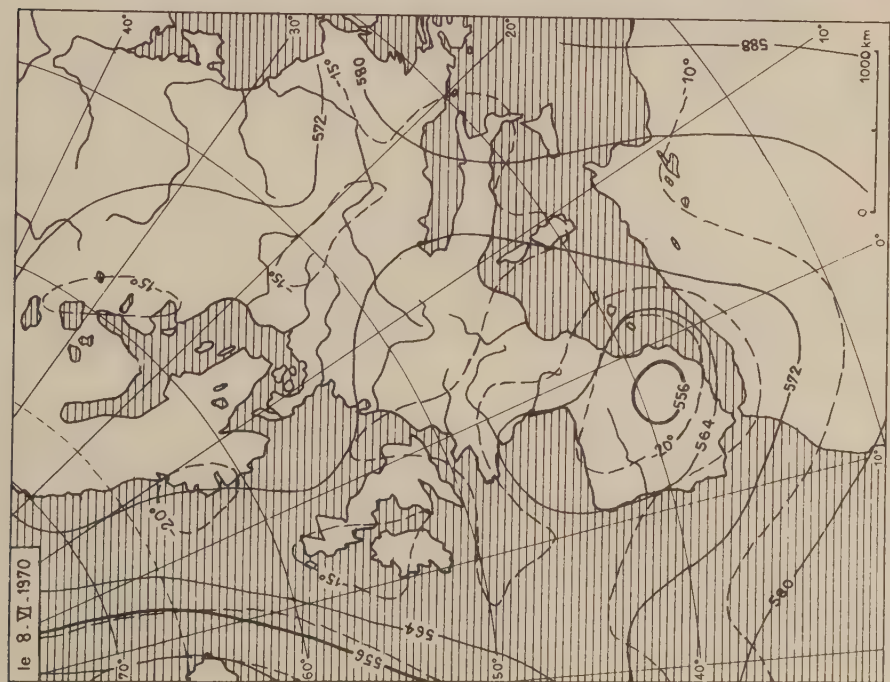
SURFACE 500 mb à 0 h TU

a b c j k l m n o p q r s
1 2 1 1 1 1 2 6 6 6 1 4 3

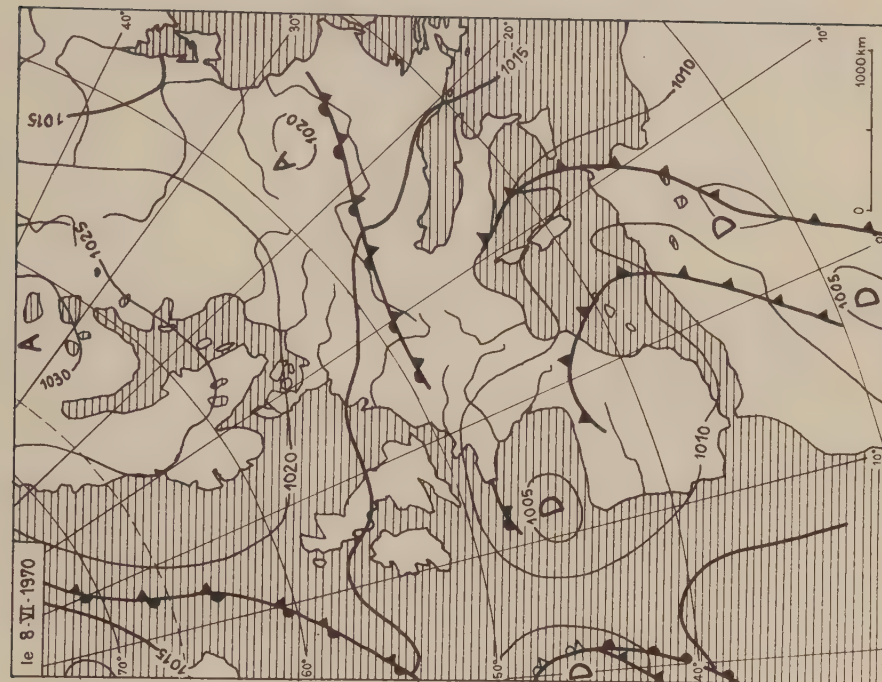


SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig 9-10 : 8-Y-73. CLASSE DIX.



le 8.VI.1970



SURFACE 500 mb à 0 h TU

SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Fig. 9-11: 8.VI.70, CLASSE ONZE.

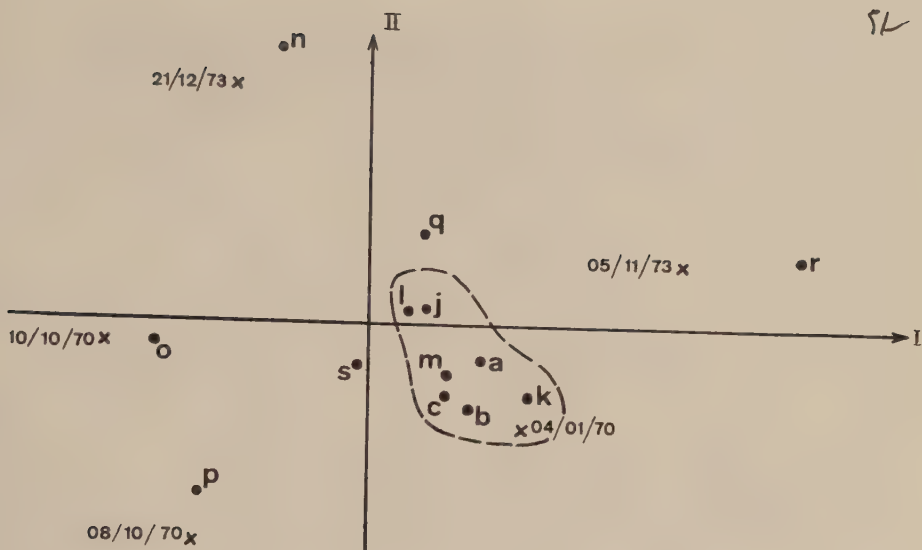


Fig. 9-13A : EXEMPLE 1 DE STRUCTURE ; CLASSE (3) - 11 - .
Les deux variables **S** et **Q** assez proches s'éloignent sur l'axe III.

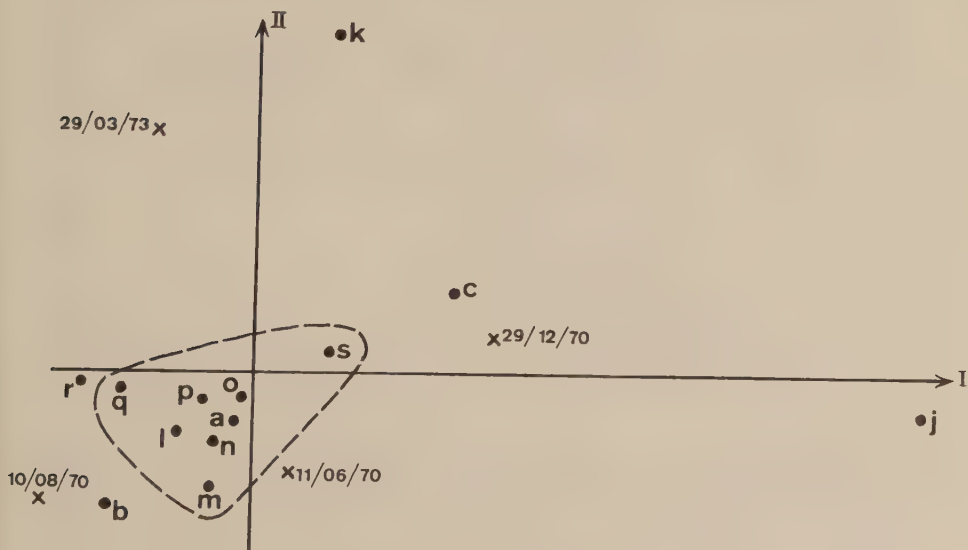
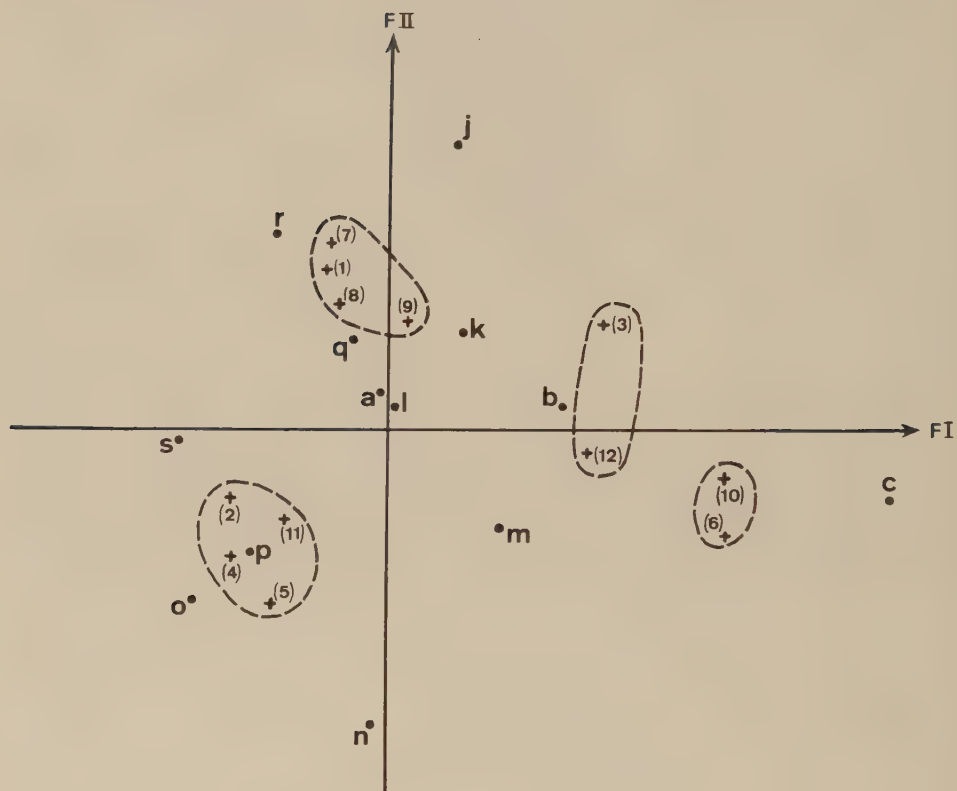


Fig.9-13 B : EXEMPLE 2 DE STRUCTURE CLASSE (4)-2 -
b, c et r sont exclus de la structure sur l'axe III.



CLASSES INITIALES : (1) à (12)

VARIABLES : a - s

Fig. 9-14 : ANALYSE STRUCTURALE DES CLASSES : LES QUATRE TYPES FINAUX .

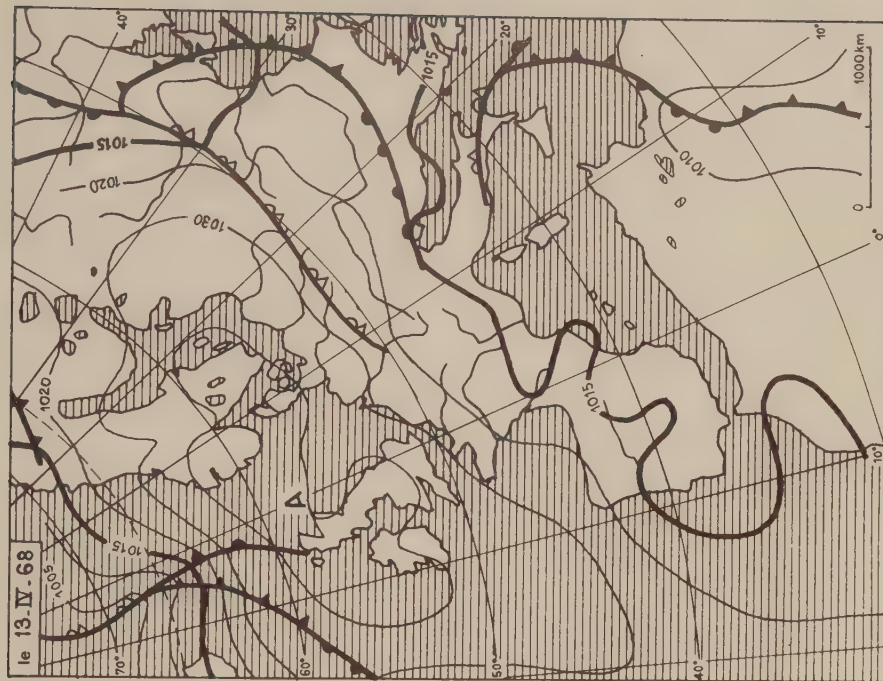
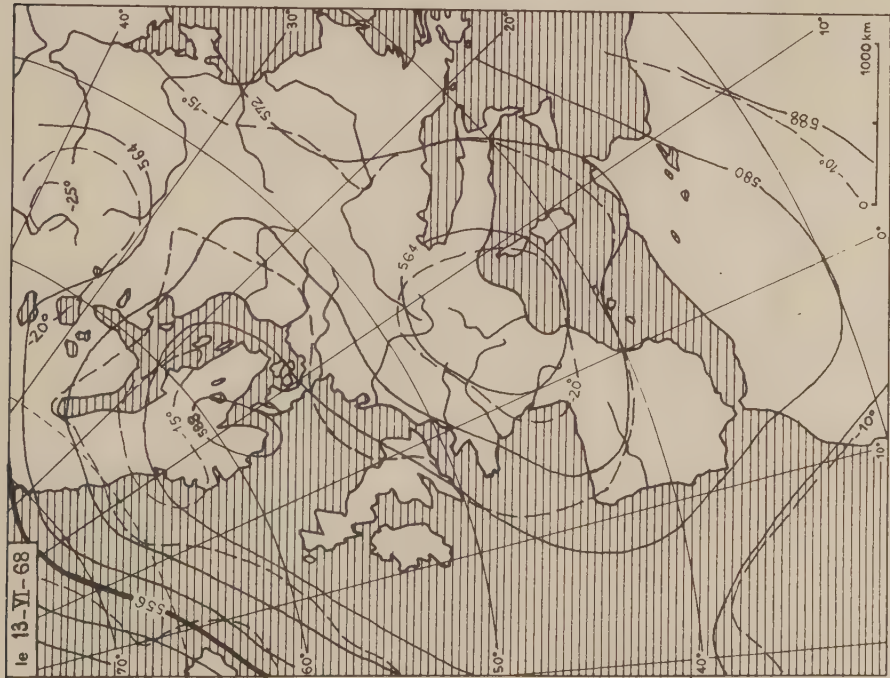


Fig. 10-1 A et B : CLASSE 1.

SITUATION GÉNÉRALE A 6hTU

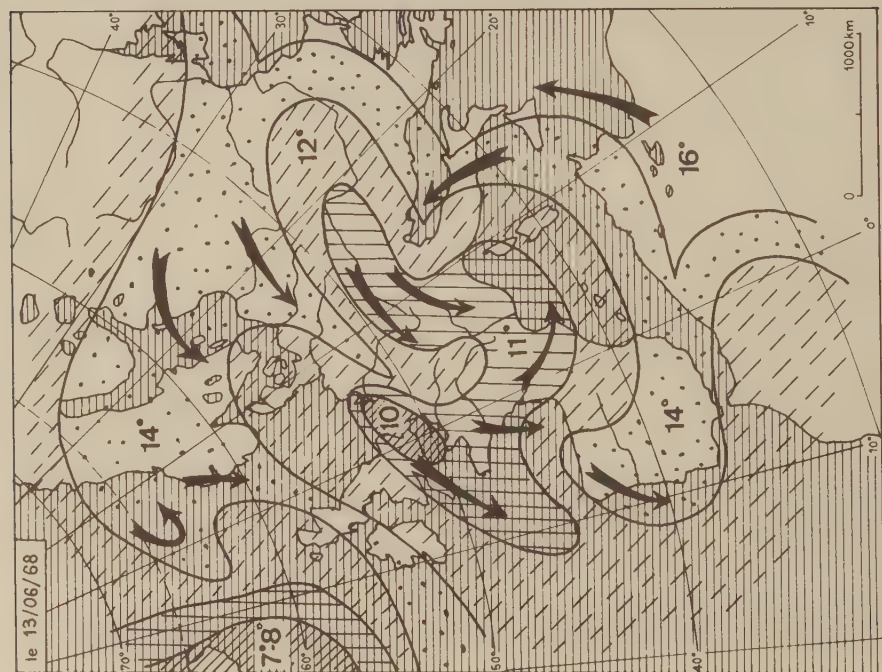


Fig. 10-1 C : θ' W 700 mb.

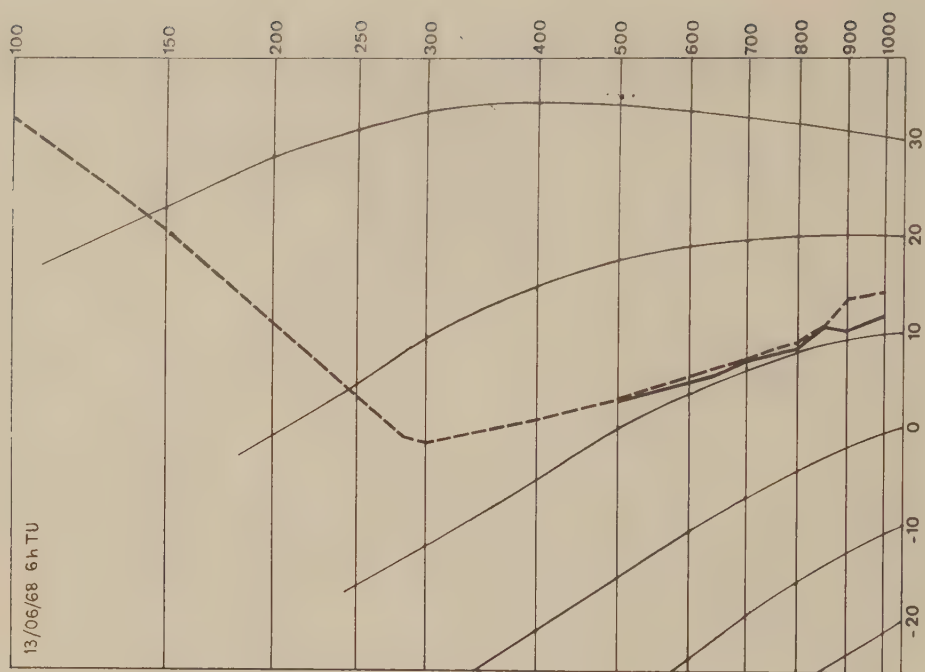


Fig. 10-1 D : SONDAGE NIMES.

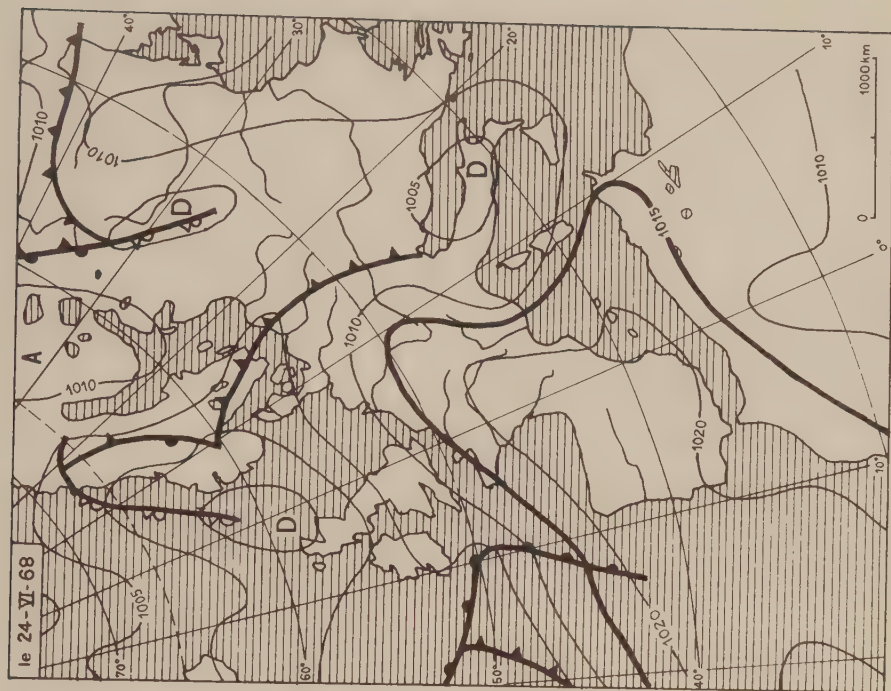
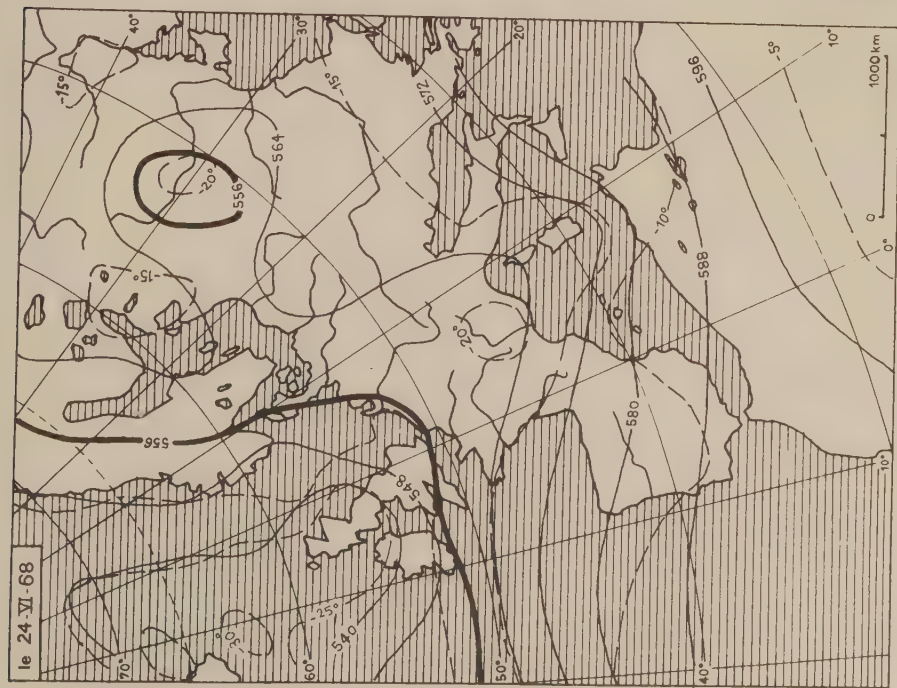


Fig. 10-2 A et B : CLASSE 1.

6

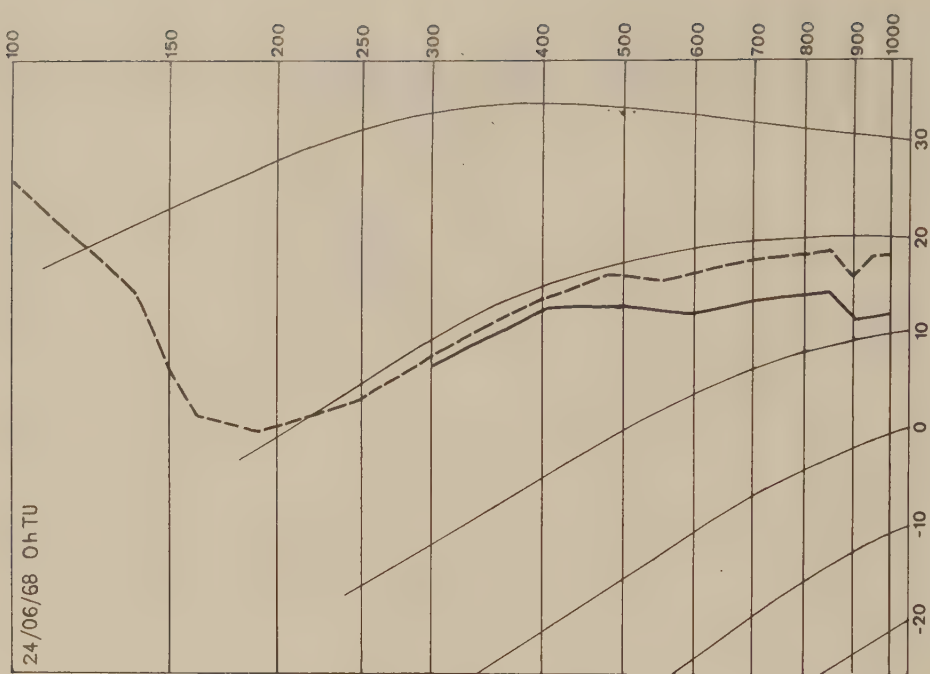


Fig. 10-2 D : SONDAGE NIMES.

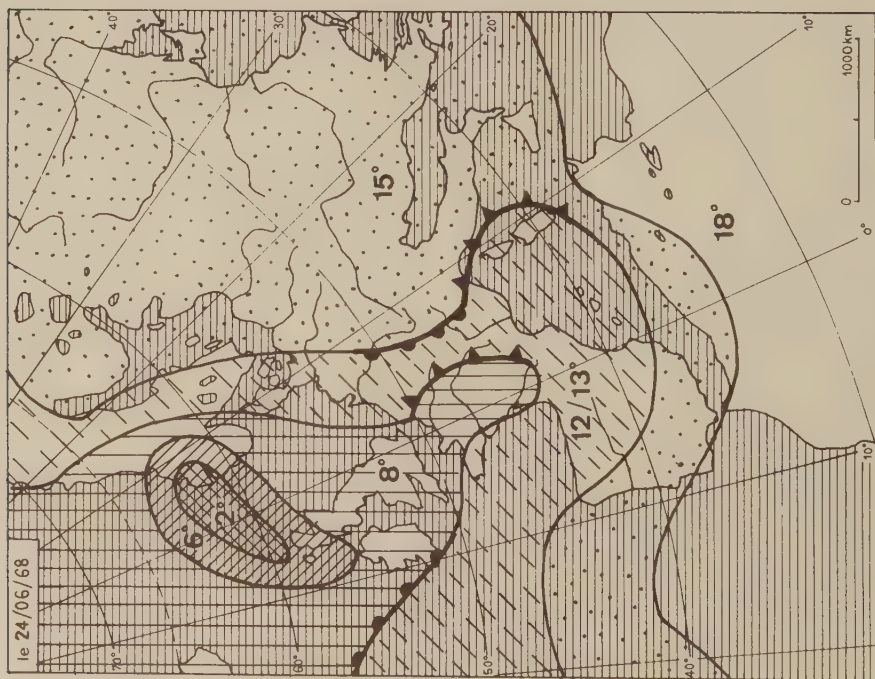


Fig. 10-2 C : 6°W 700 mb.

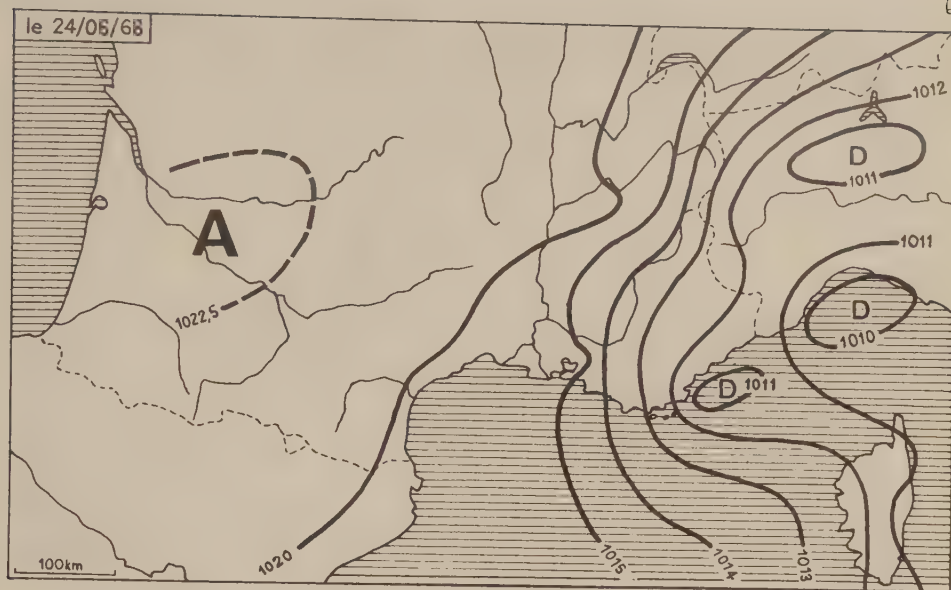


Fig. 10-2 D : MESOANALYSE.

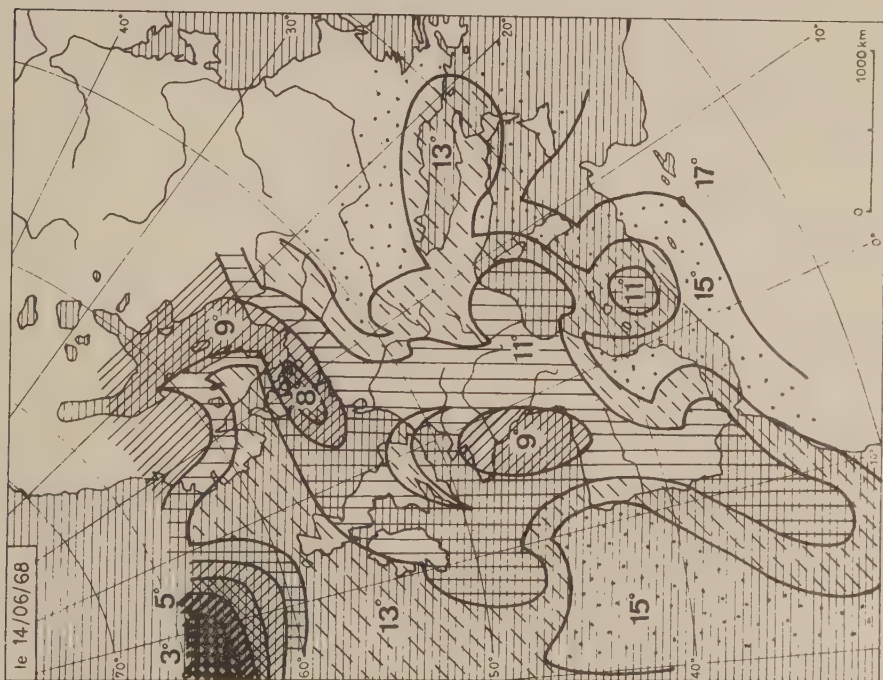


Fig. 10-3 C : G*W 700 mb.

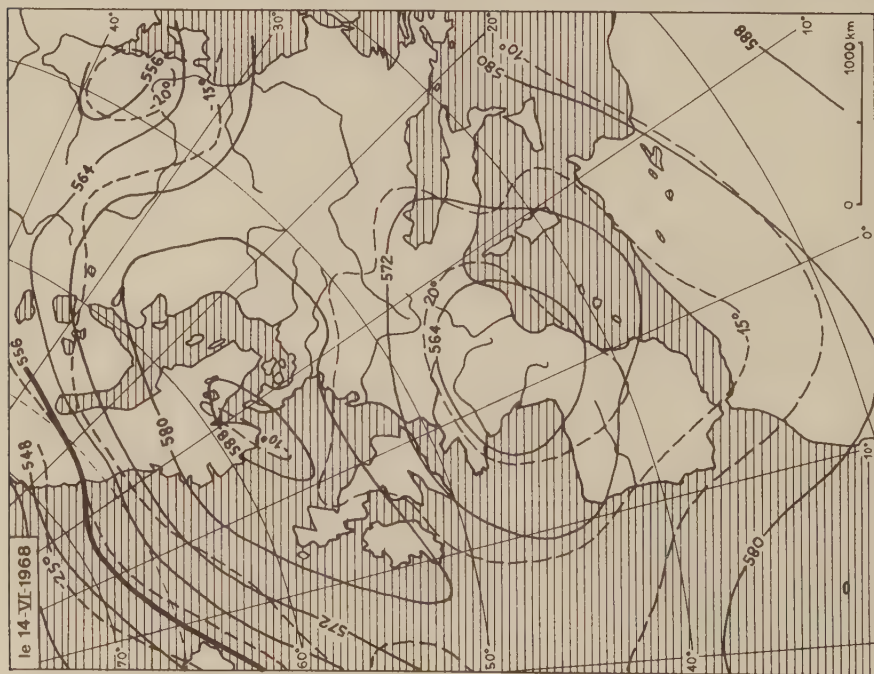


Fig. 10-3 A et B: CLASSE 2.

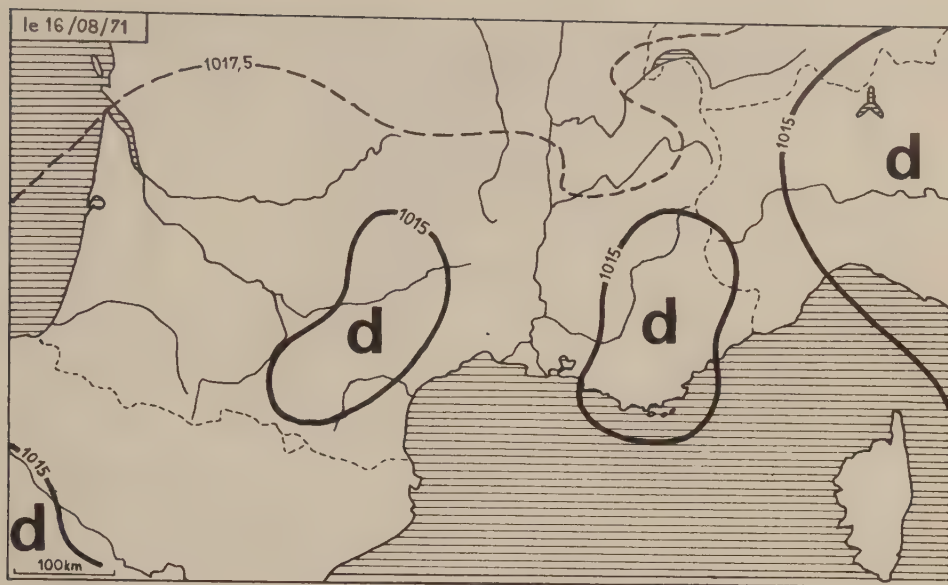


Fig. 10-4 C : MESOANALYSE.

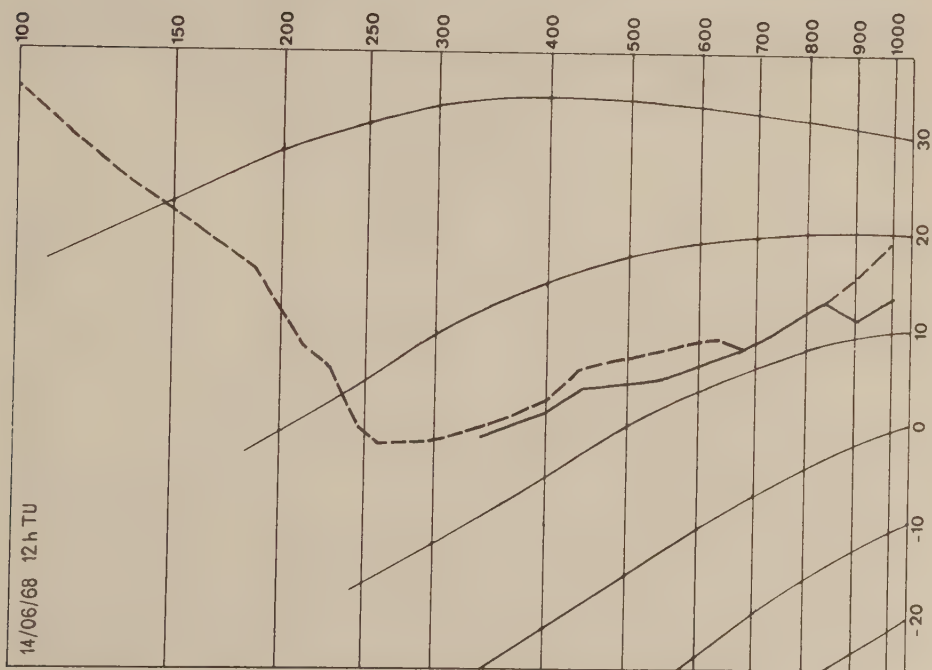
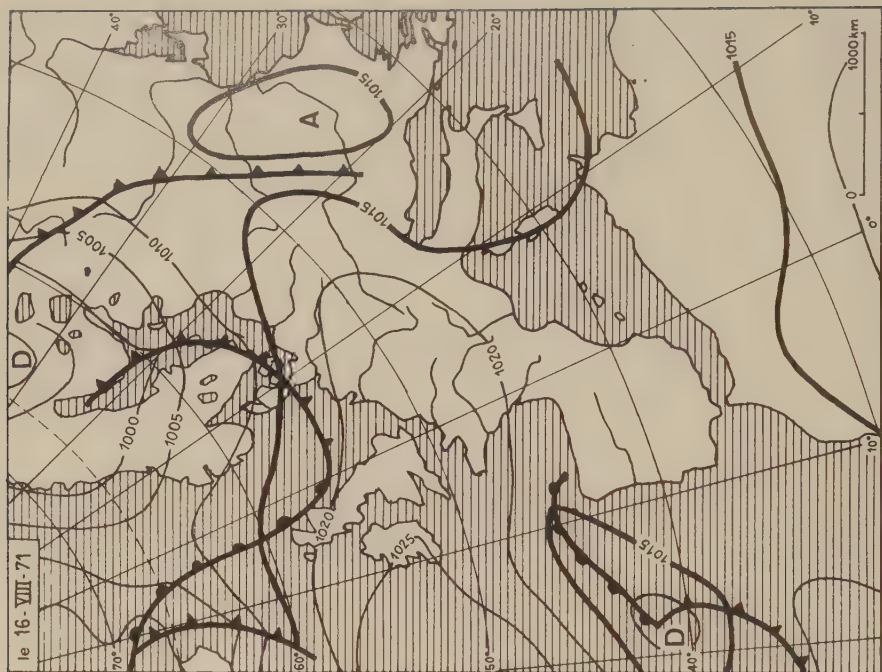
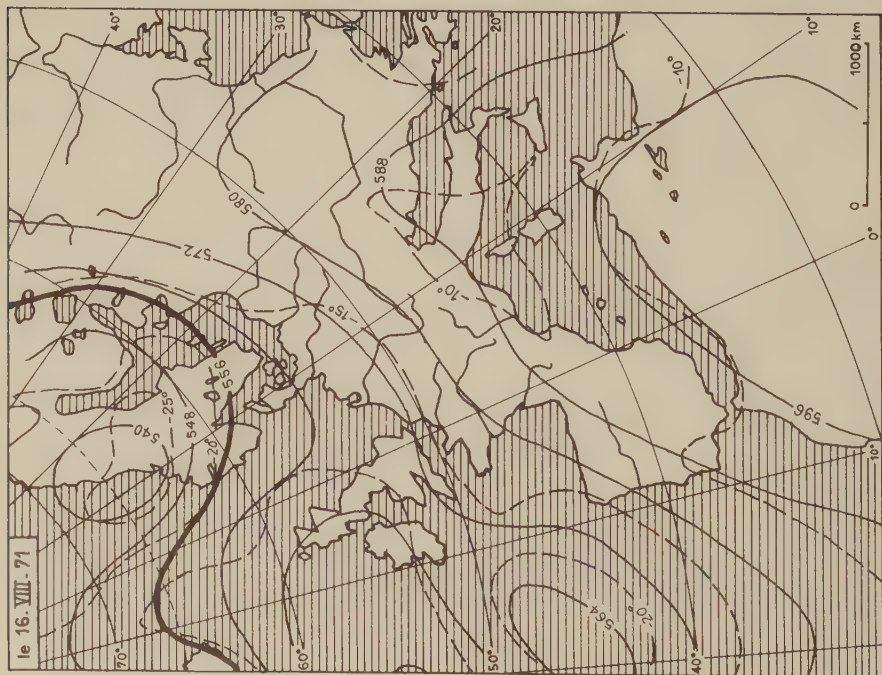


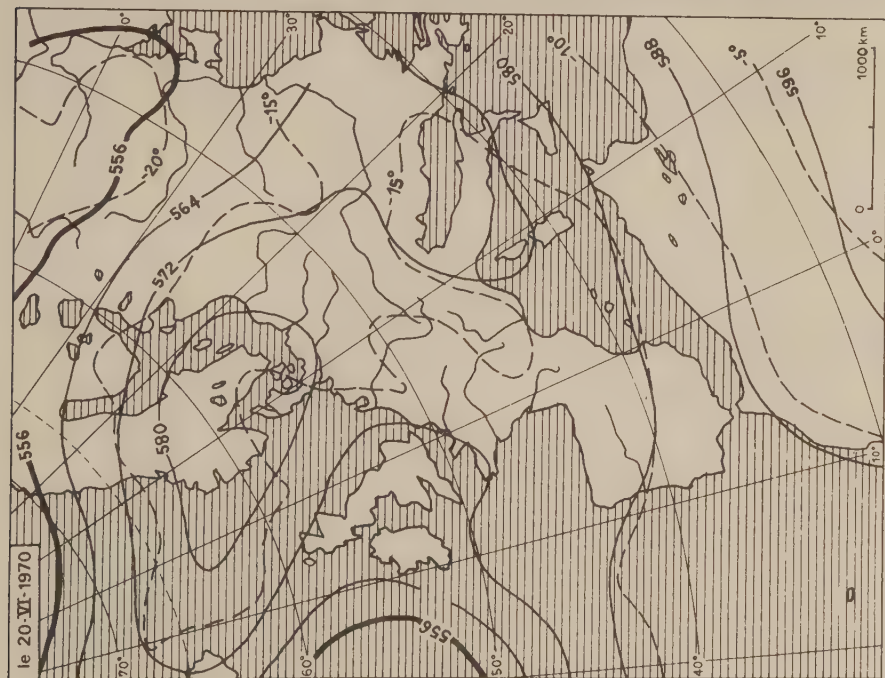
Fig. 10-3 D : SONDAGE NIMES.



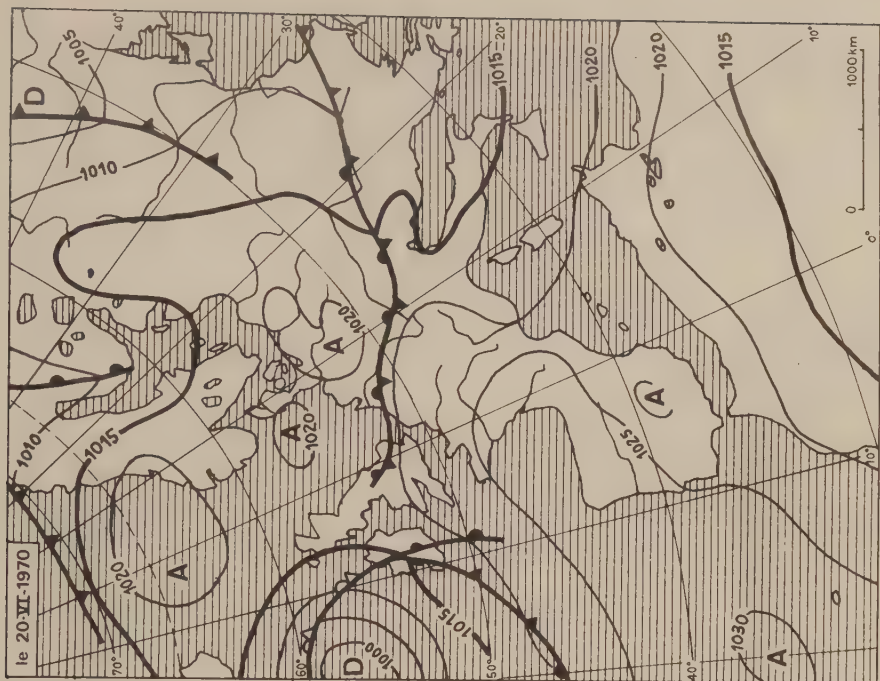
SURFACE 500 mb AOML

SITUATION GÉNÉRALE A 6h TU

Fig. 10-4 A et B : CLASSE 2.



SURFACE 500 mb à 0 h TU



SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 10-5 A et B: CLASSE 3.

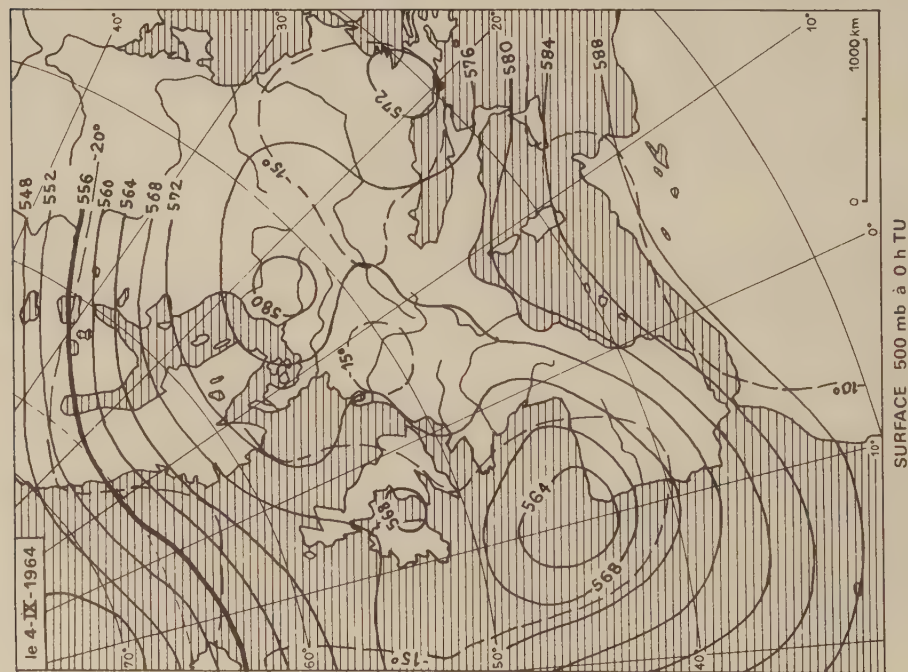
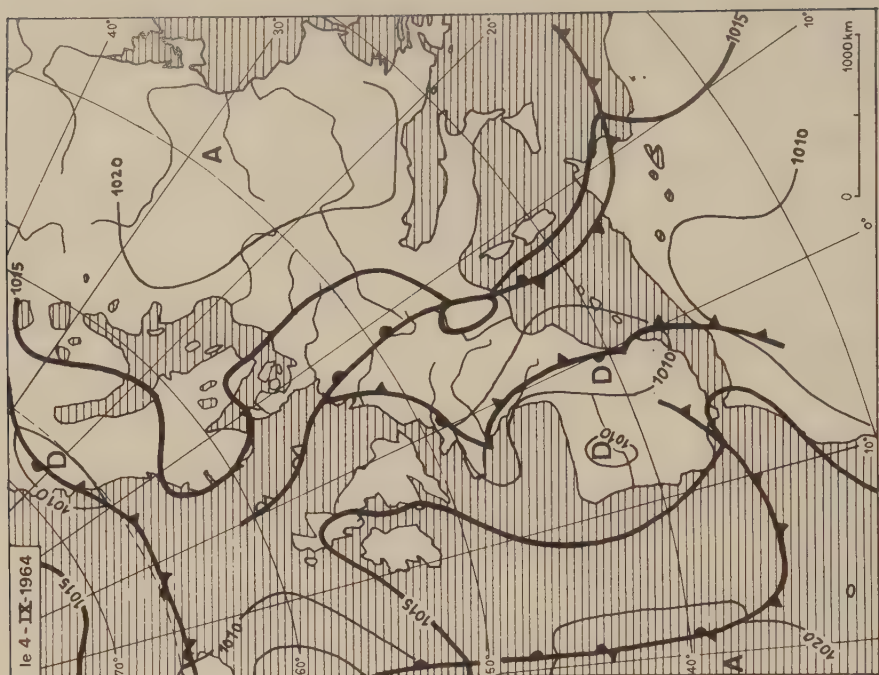


Fig. 10-6 A et B: CLASSE 4.

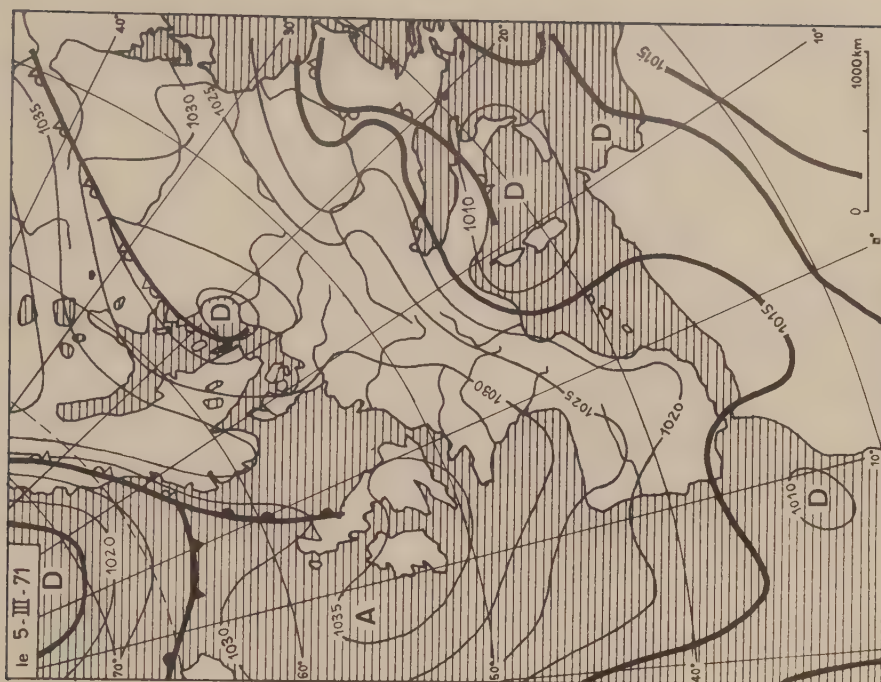
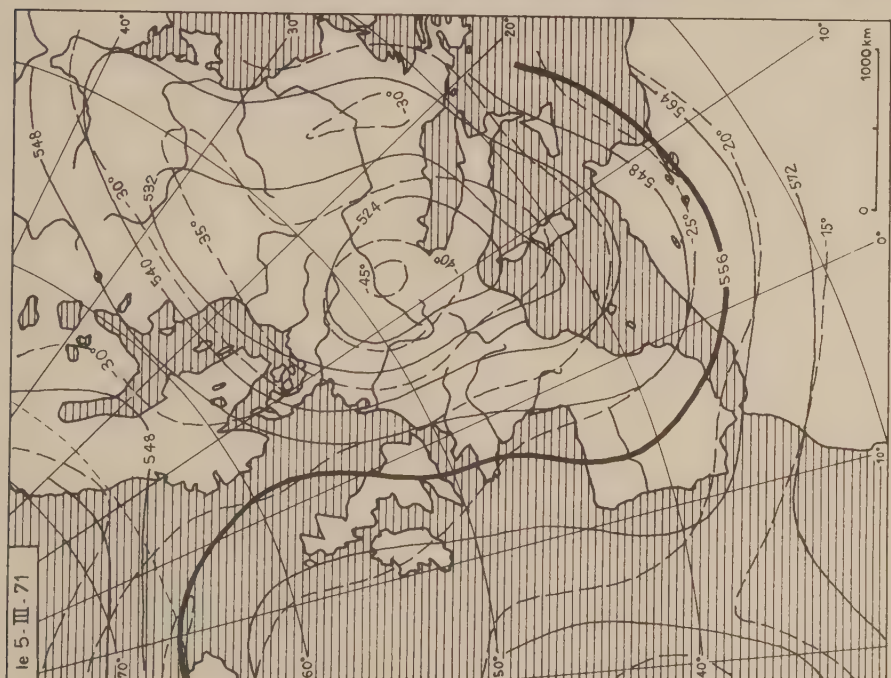


Fig. 10-7 A et B : CLASSE 4.

LIMITES

- Limite d'un secteur nuageux principal (système perturbé) ———
- Limite d'un secteur nuageux secondaire ———
- Limite diffuse d'un secteur nuageux ———
- Limite de zone glaciale ———

NÉBULOSITÉ

- Clair ——— CL
- $1/8 \leq \text{nébulosité} \leq 4/8$ ——— ①
- $4/8 \leq \text{nébulosité} \leq 7/8$ ——— ②
- Nébulosité $> 7/8$ ——— ③

FORMES

- Stratiforme ——— L
- Cumuliforme ——— C
- Cirriforme ——— J

GENRES DE NUAGES IDENTIFIÉS

- Cumulonimbus ——— Z
- Cumulus ——— Cu
- Stratocumulus ——— Sc
- Status, etc... ——— St

ORGANISATIONS

- Nuages en bandes ——— →
- Nuages d'ondes ——— |||
- Indication de courbure ——— ↷
- Vortex ——— ↻

Fig.10-7 C : LÉGENDE NEPHANALYSE.

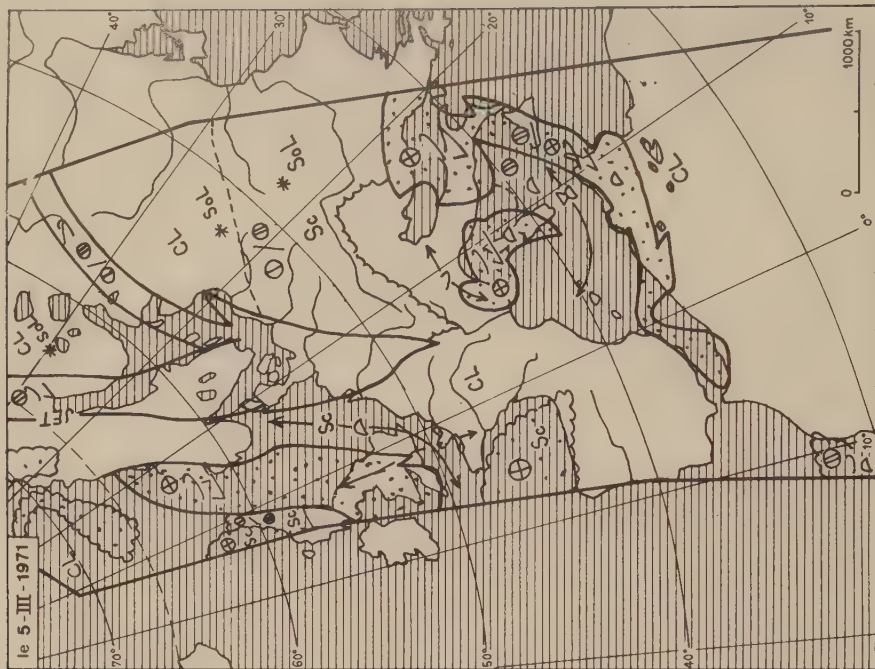
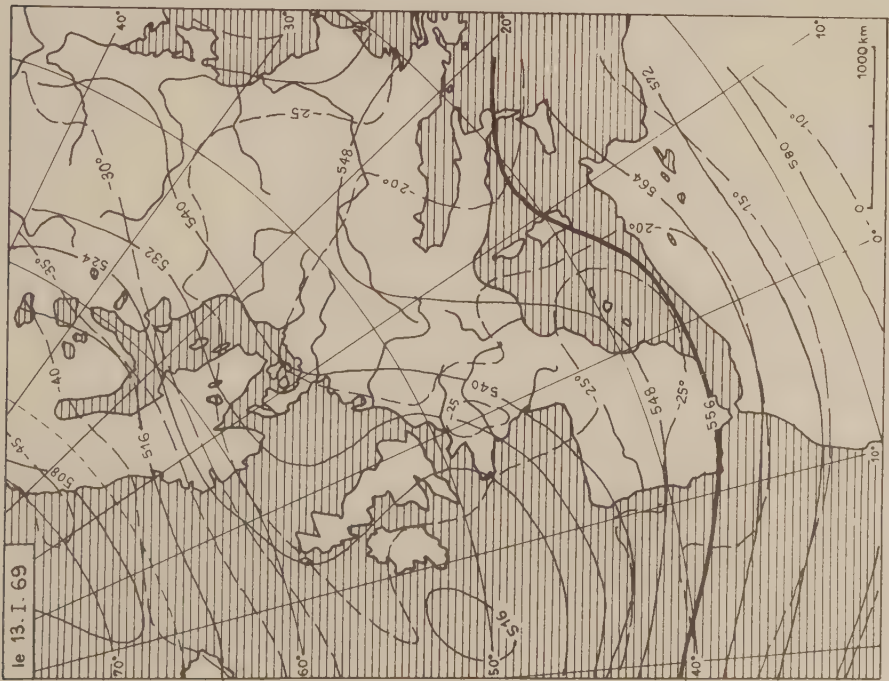
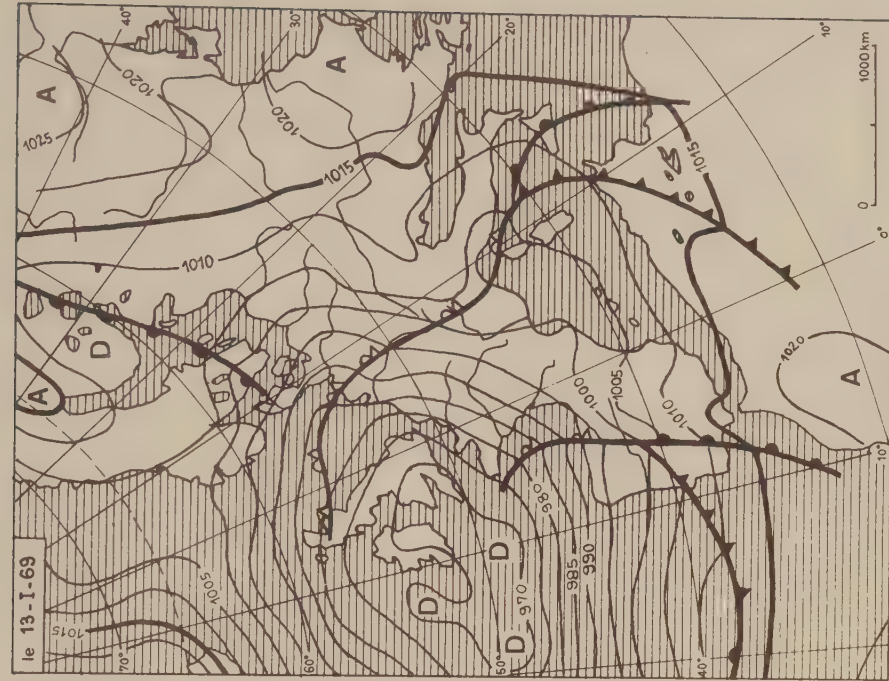


Fig. 10-7C : CLASSE 4.



SURFACE 500 mb A 0h TU



SITUATION GÉNÉRALE A 6h TU

Fig. 10-8 A et B : CLASSE 4.

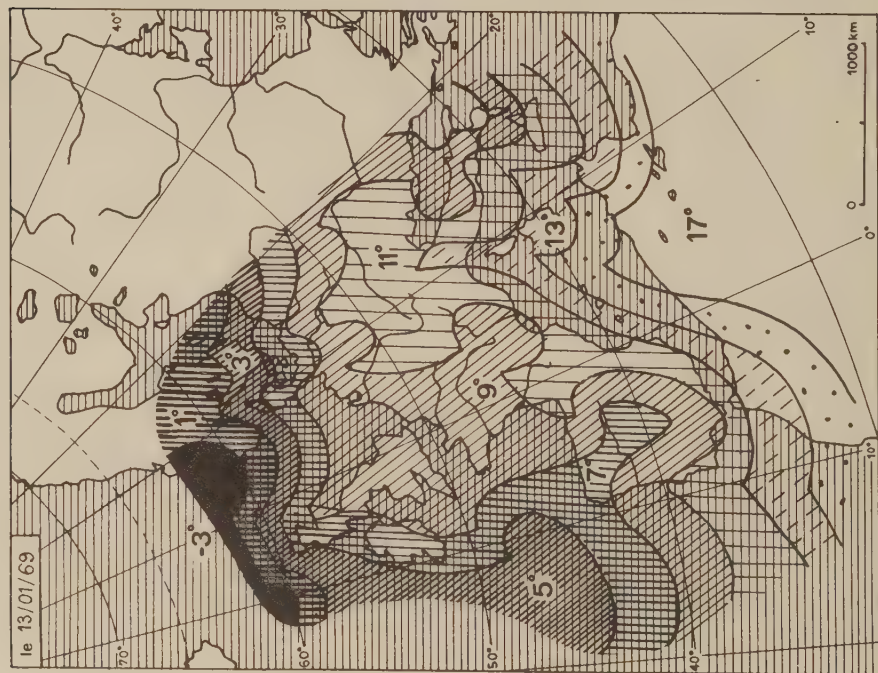


Fig. 10-8 C : 6'W 700 mb.

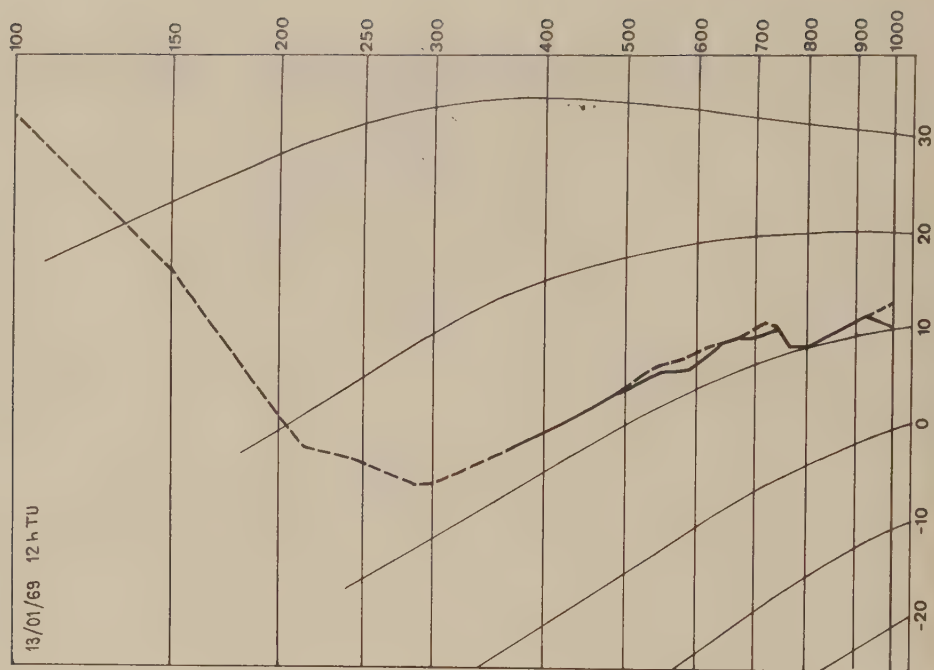


Fig. 10-8 D : SONDAGE NIMES.

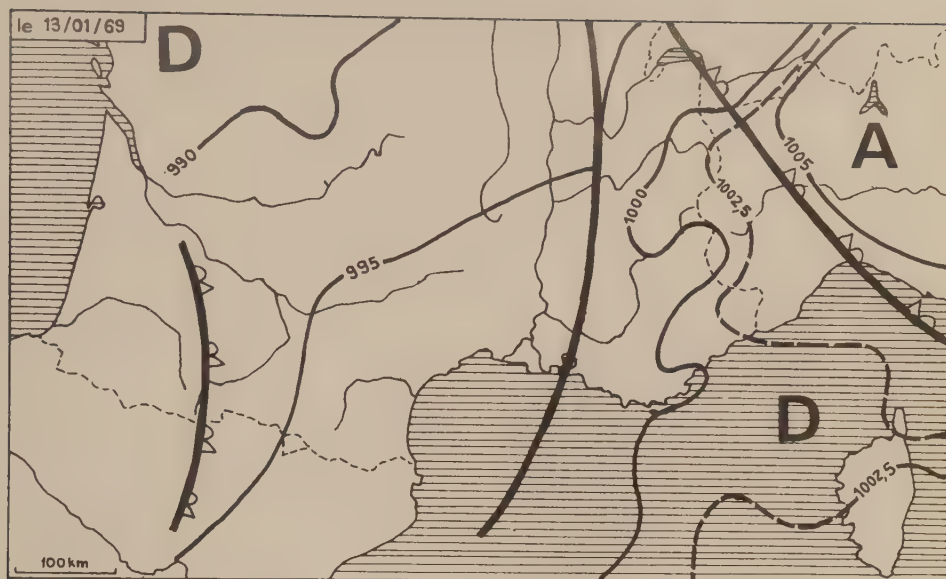


Fig. 10-8 E : MÉSOANALYSE.

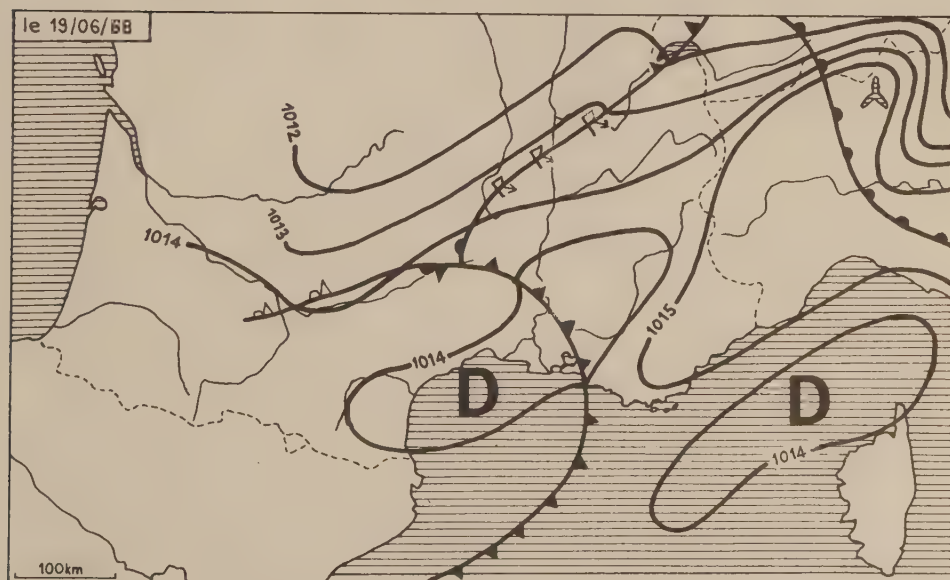


Fig. 10-9 C : MÉSOANALYSE.

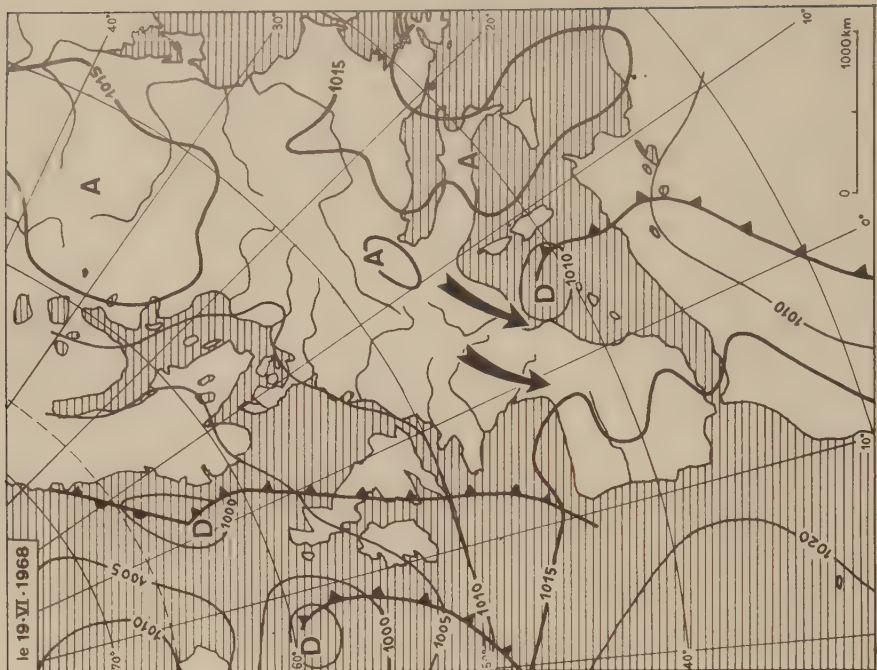
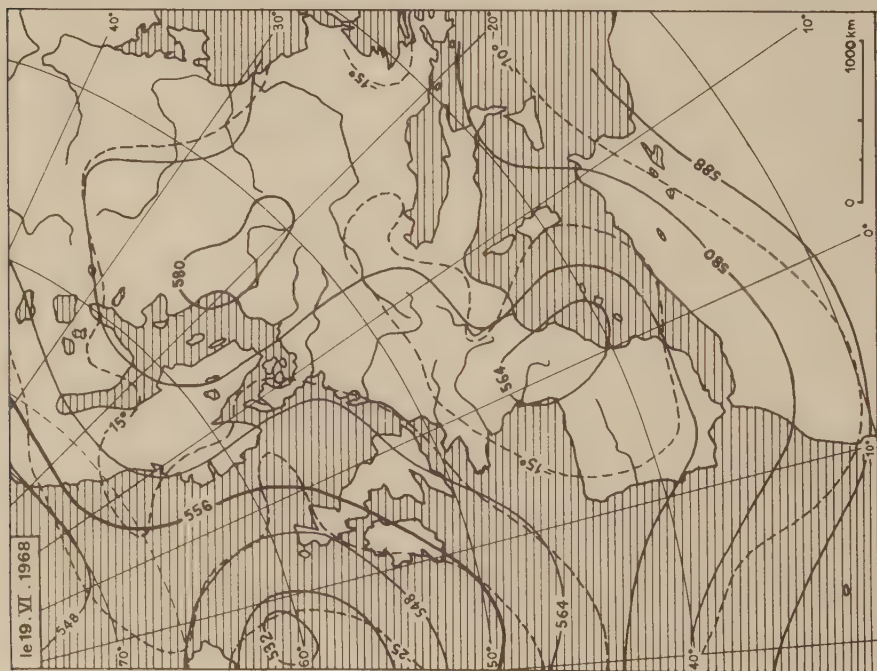
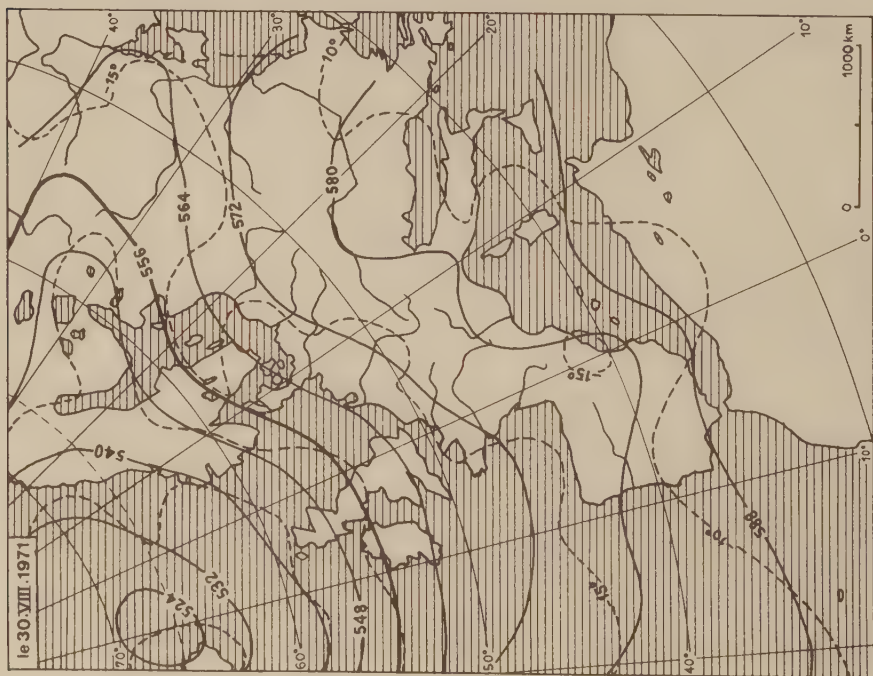
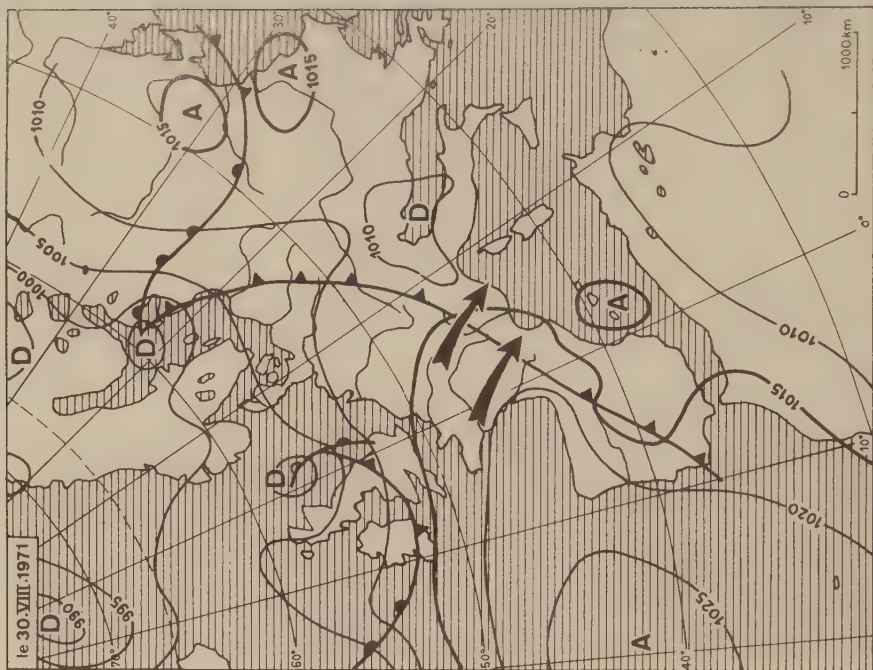


Fig. 10-9 A et B : CLASSE 5.



SURFACE 500 mb à 0 h TU



SITUATION GÉNÉRALE à 18h TU

Fig. 11-1 A et B: CLASSE 7.

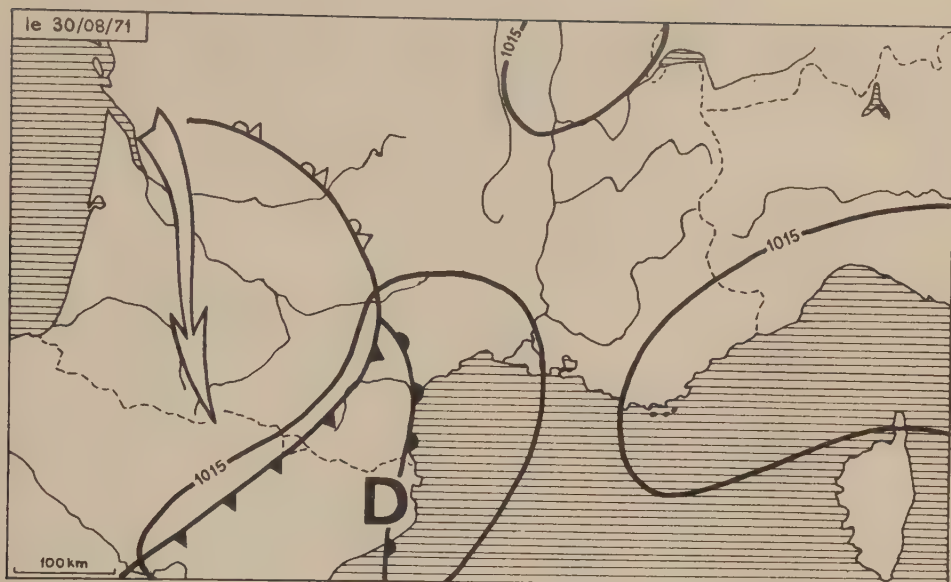
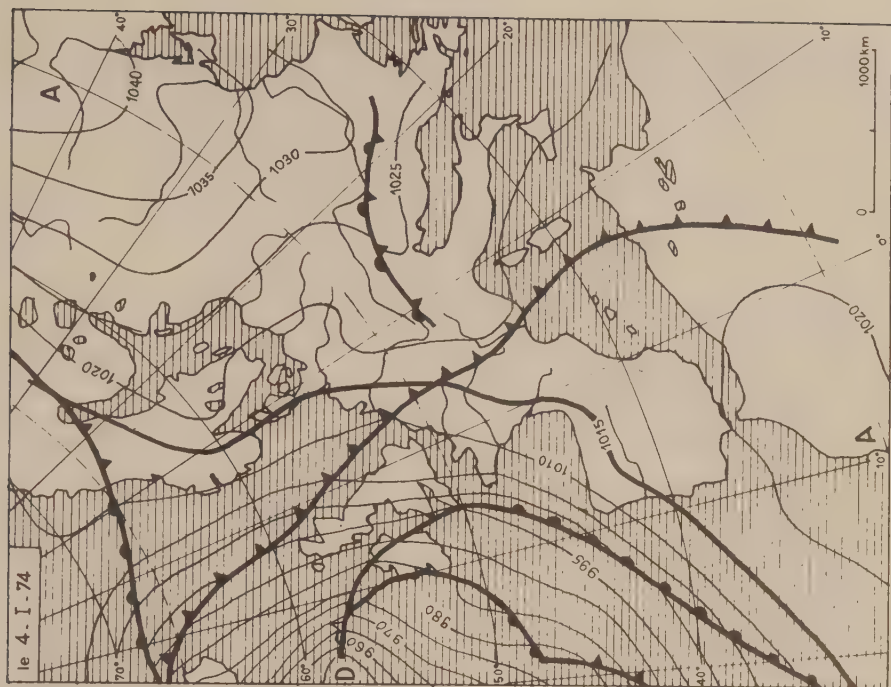
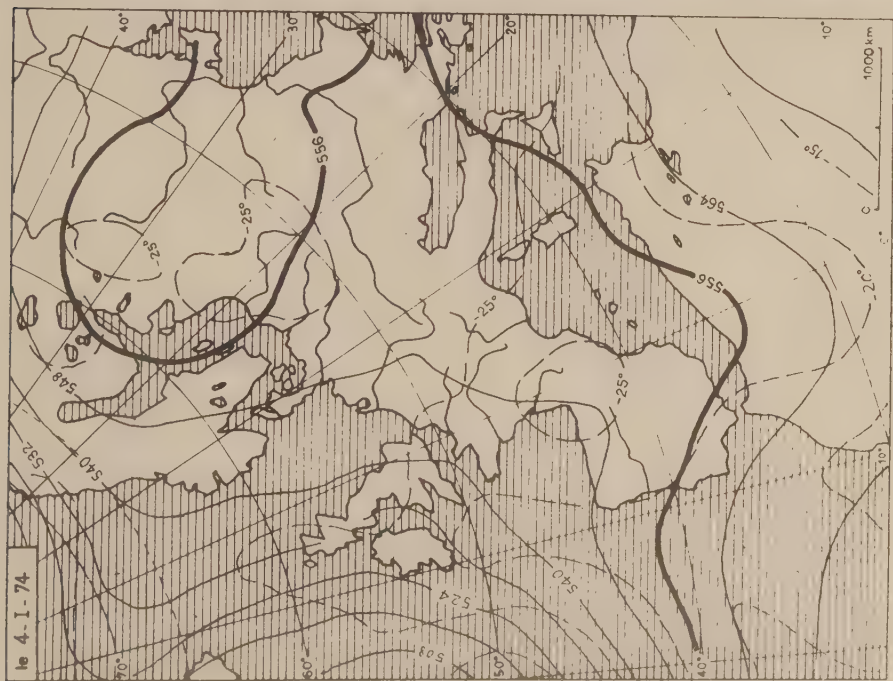


Fig. 11-1 C : MESOANALYSE .



Fig. 11-2 C : CLASSE 7.



SURFACE 500 mb A 0h TU

SITUATION GÉNÉRALE A 6h TU

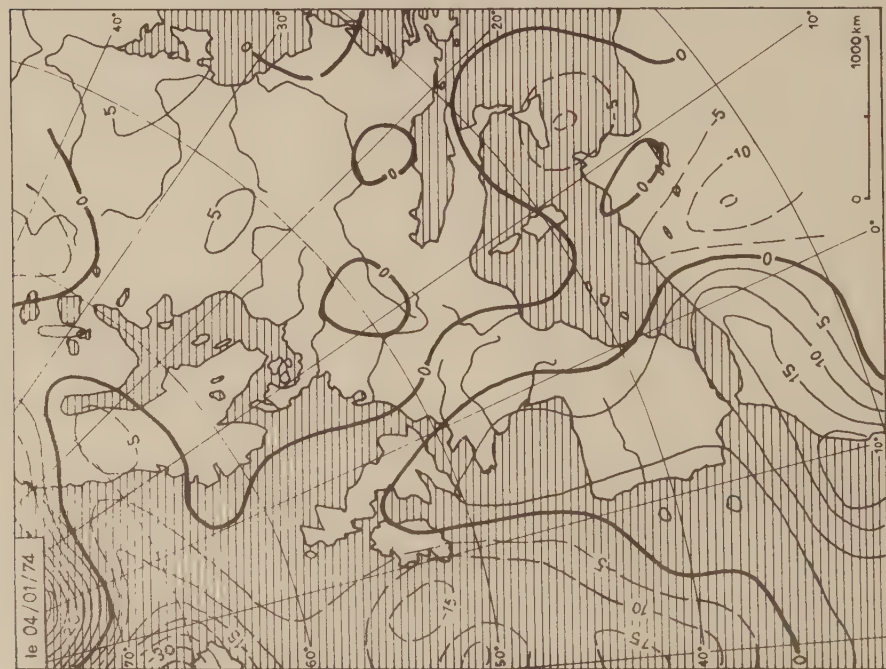


Fig. 11-3 C : VITESSE VERTICALE 800 mb.

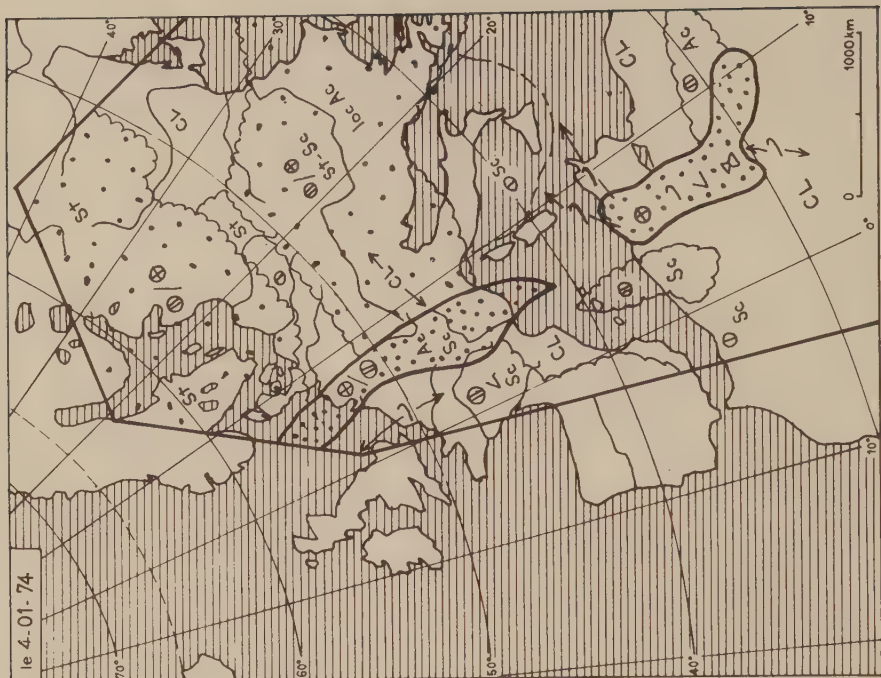
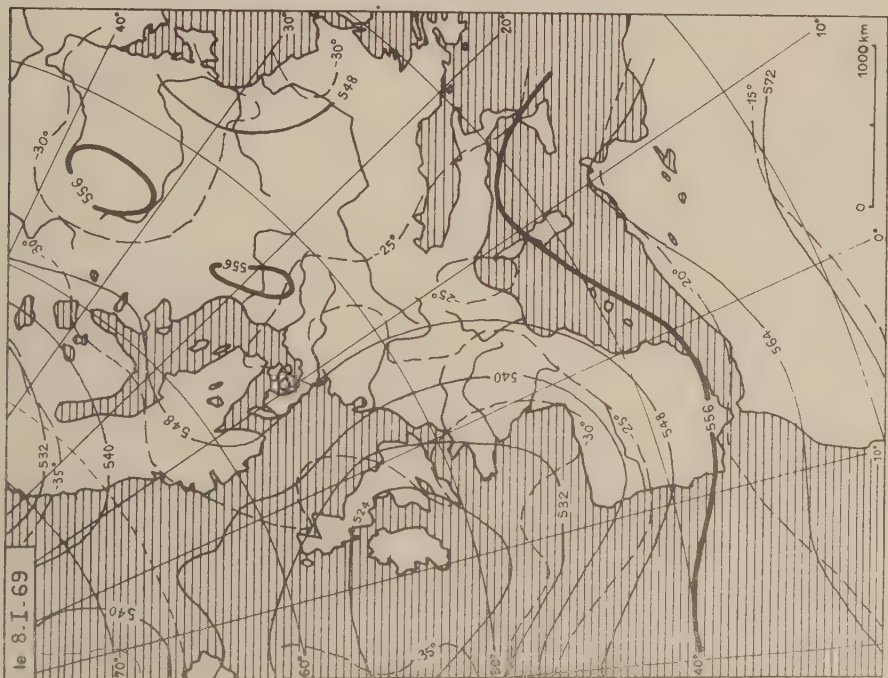


Fig. 11-3 D : CLASSE 8.



SURFACE 500mb A 0 HTU

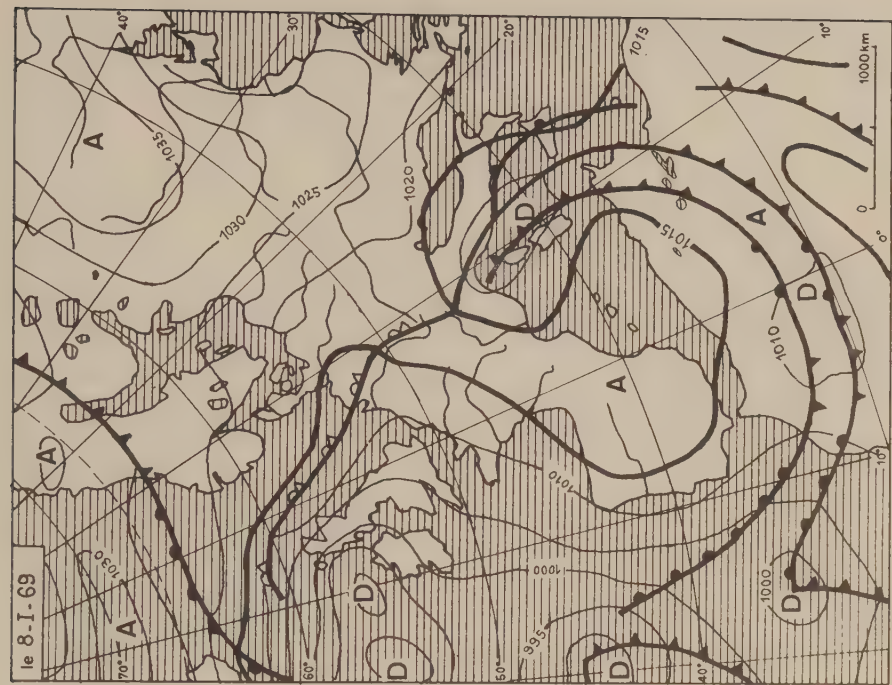


Fig. 11-4 A et B : CLASSE 8.

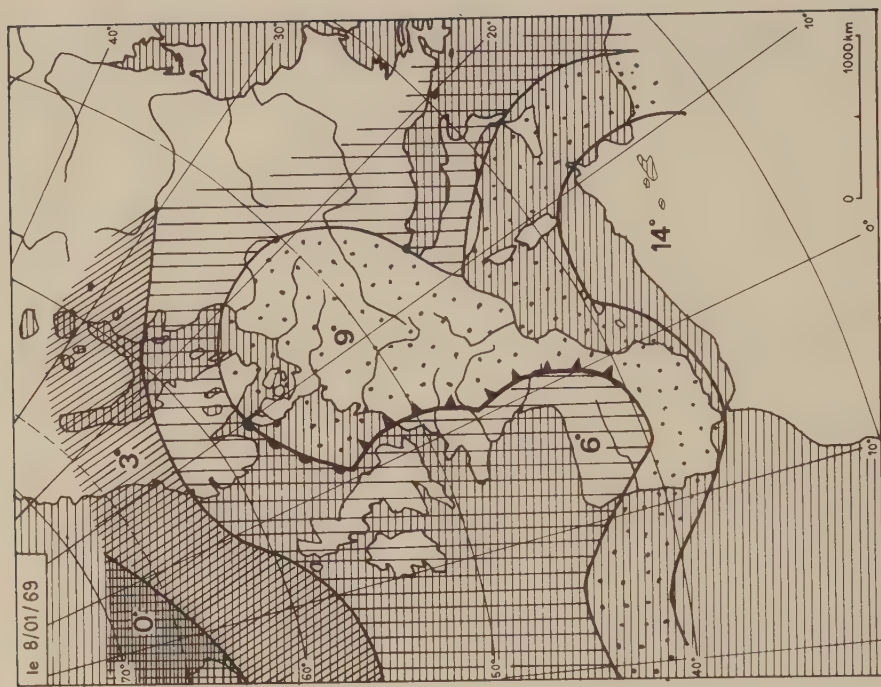


Fig. 11-4 C: 8'W 700 mb.

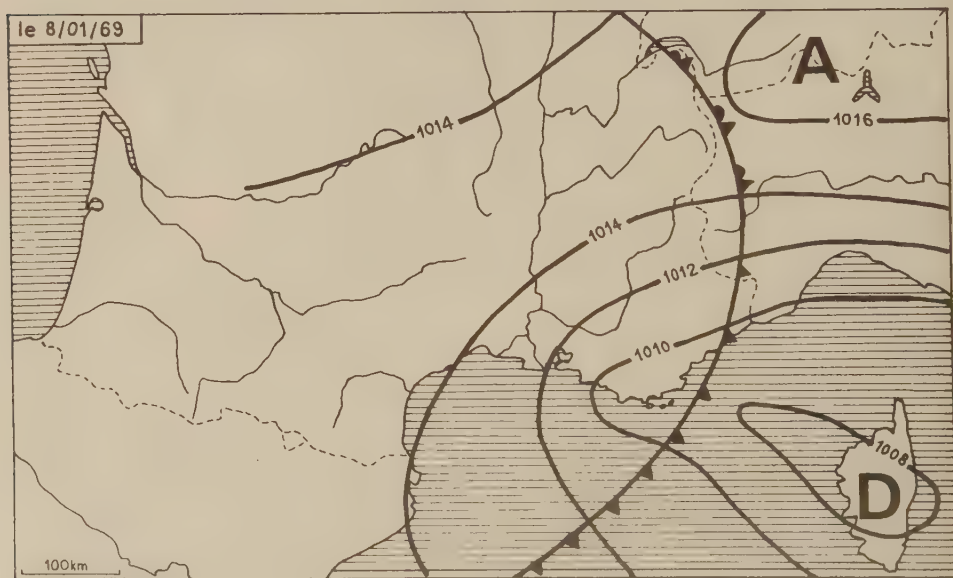
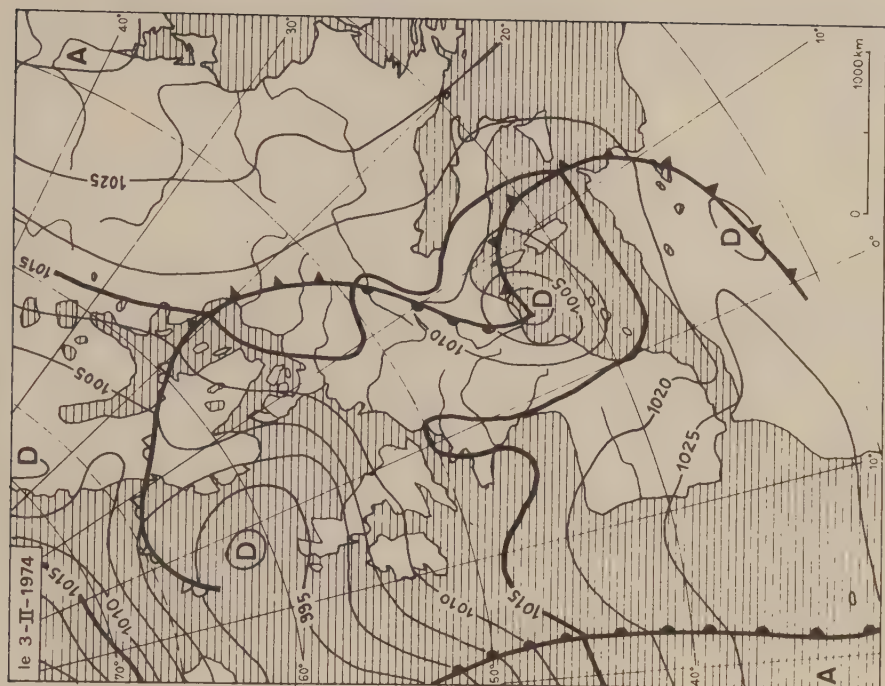
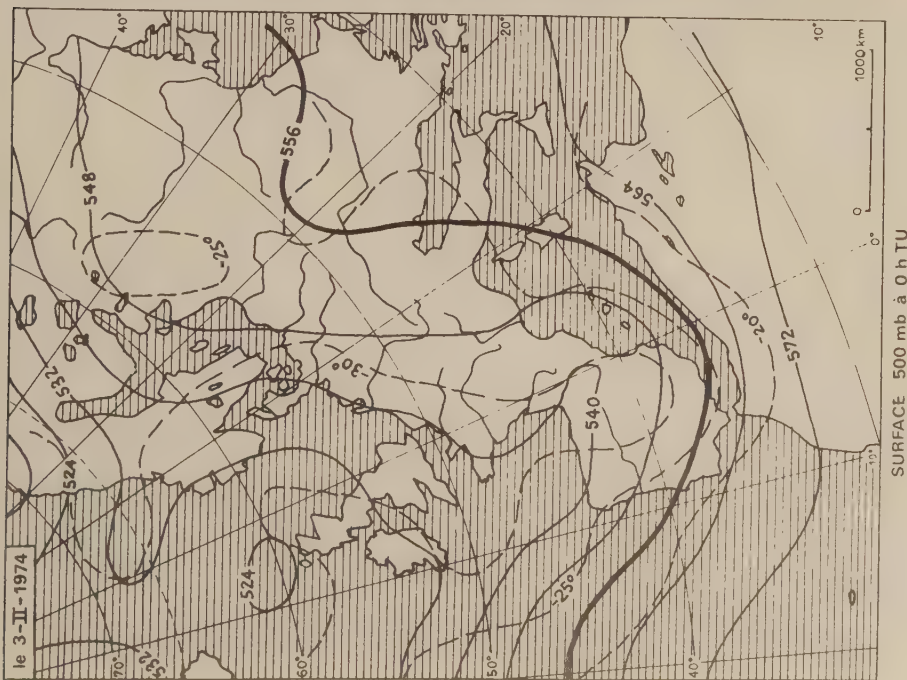


Fig. 11-4 D: MESOANALYSE.



SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 11-5 A et B: CLASSE 9.

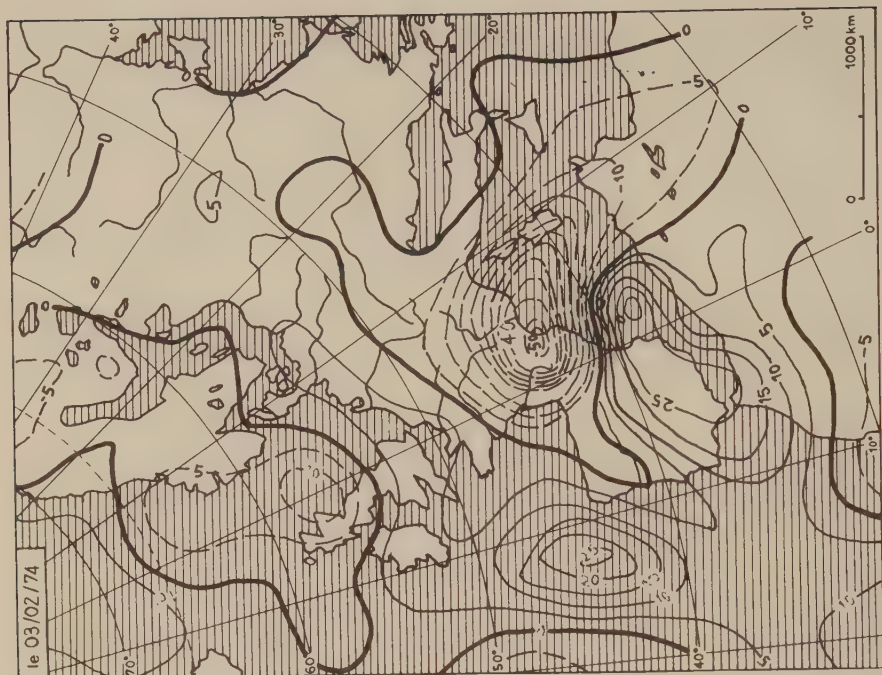


Fig. 11-5 D : VITESSE VERTICALE 800 mb.

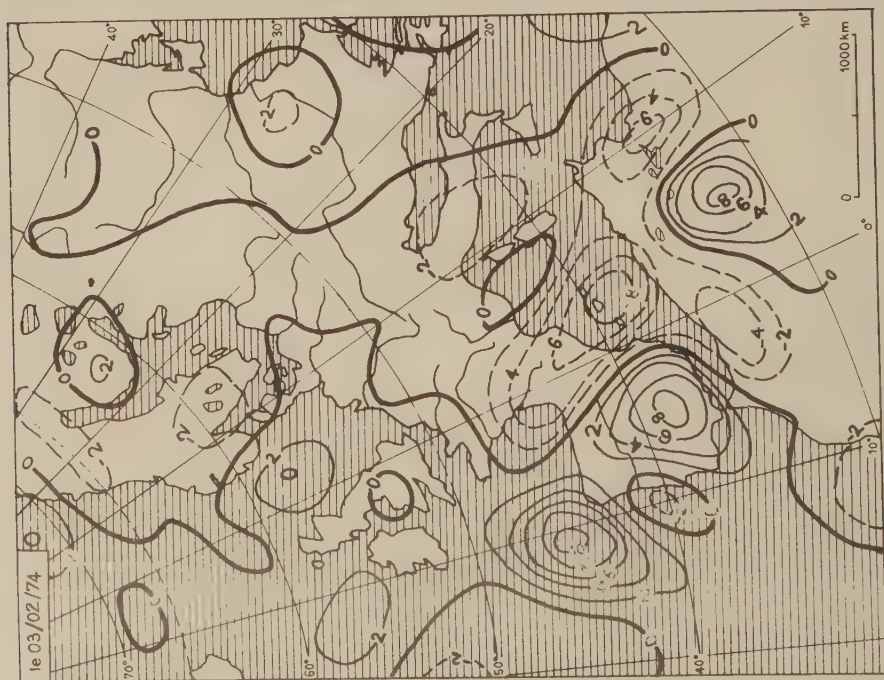


Fig. 11-5 C : DIVERGENCE 800-600 mb.

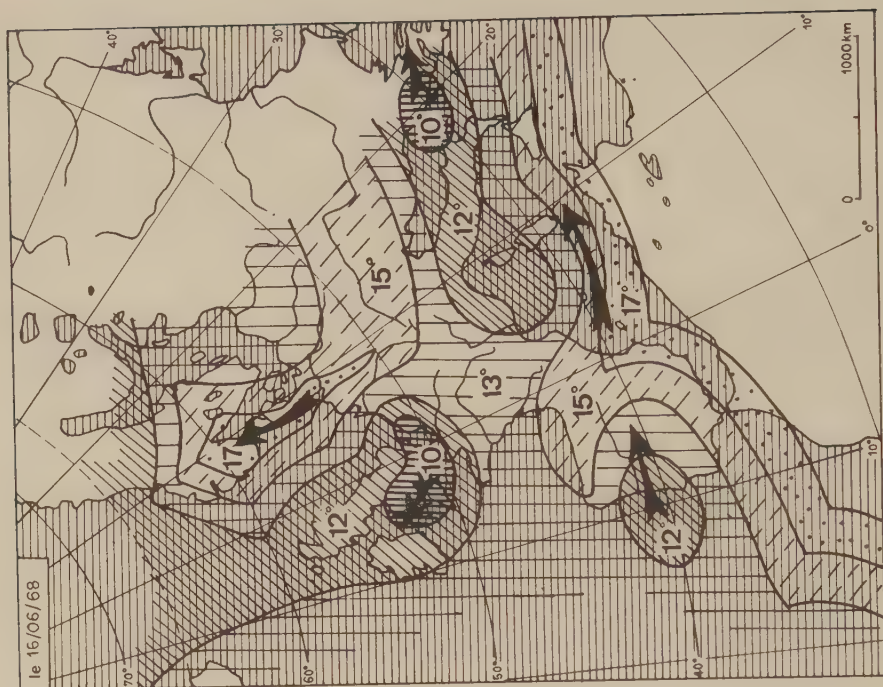
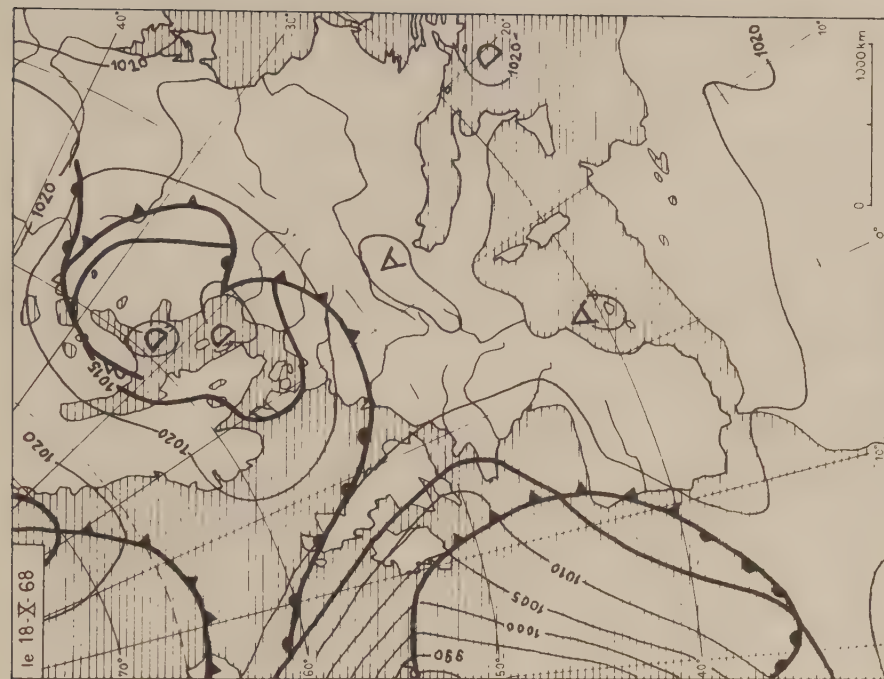
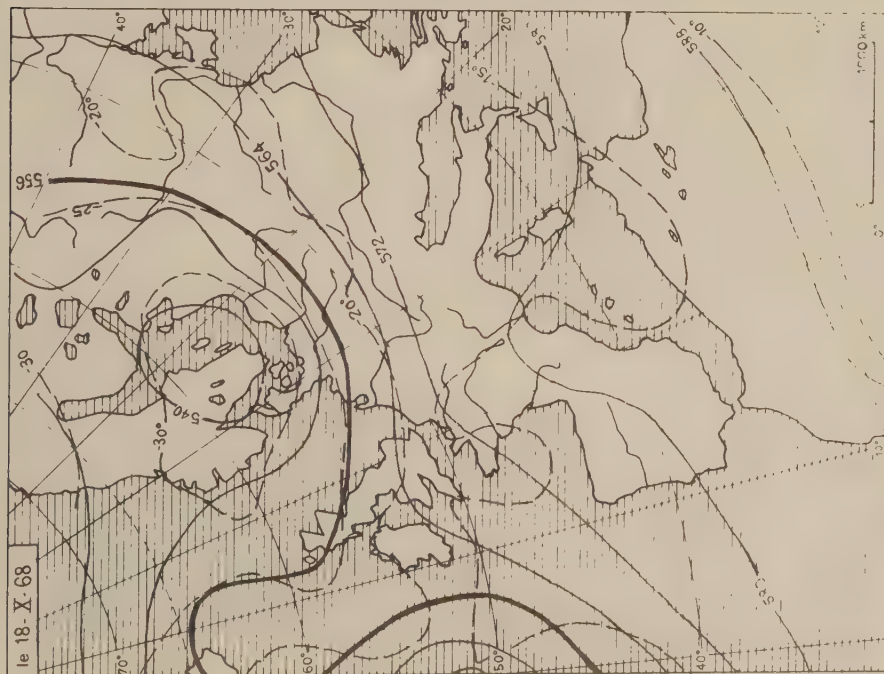


Fig. 11-6 C : e'w 700 mb.



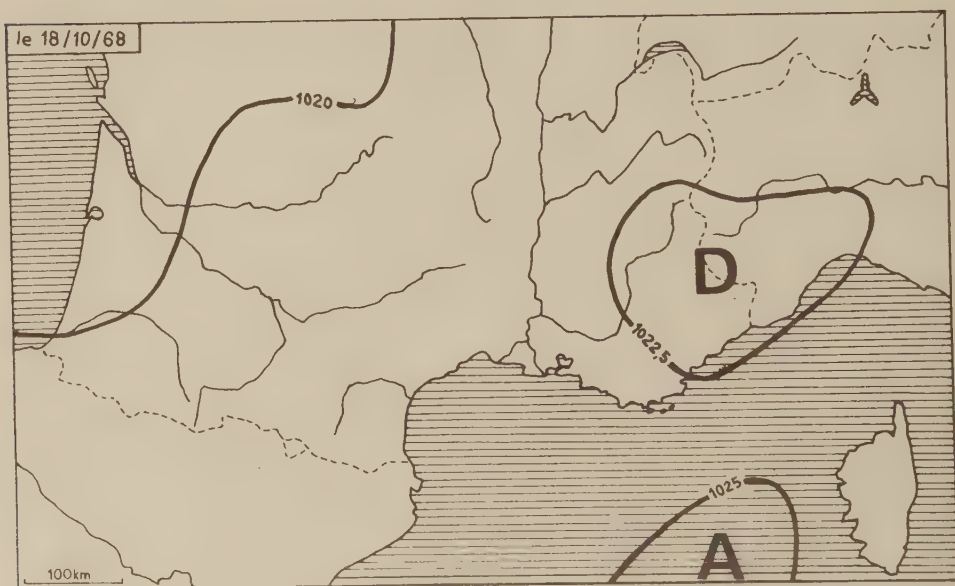
Fig. 11-6 D : MESOANALYSE.

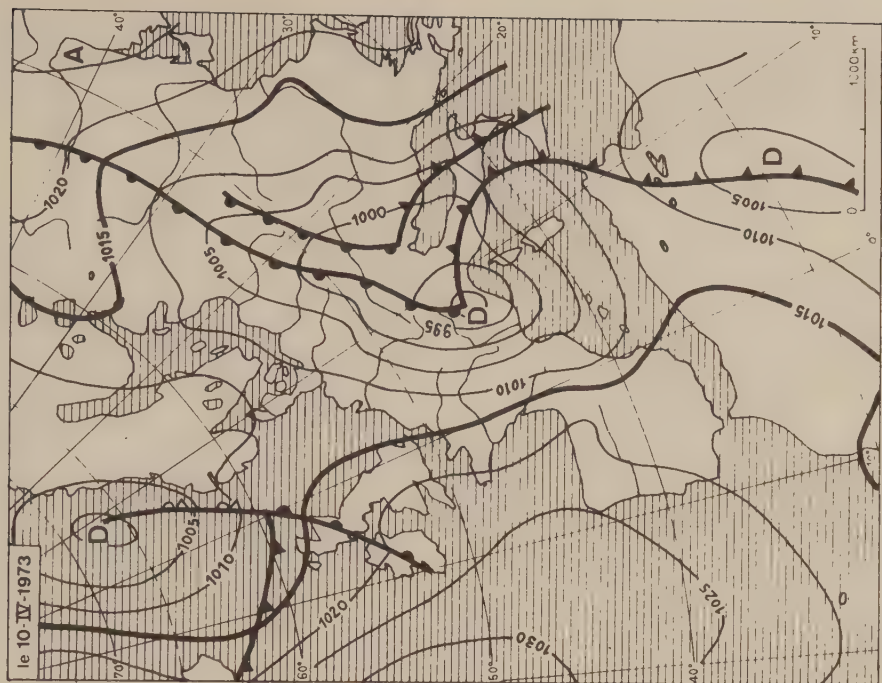
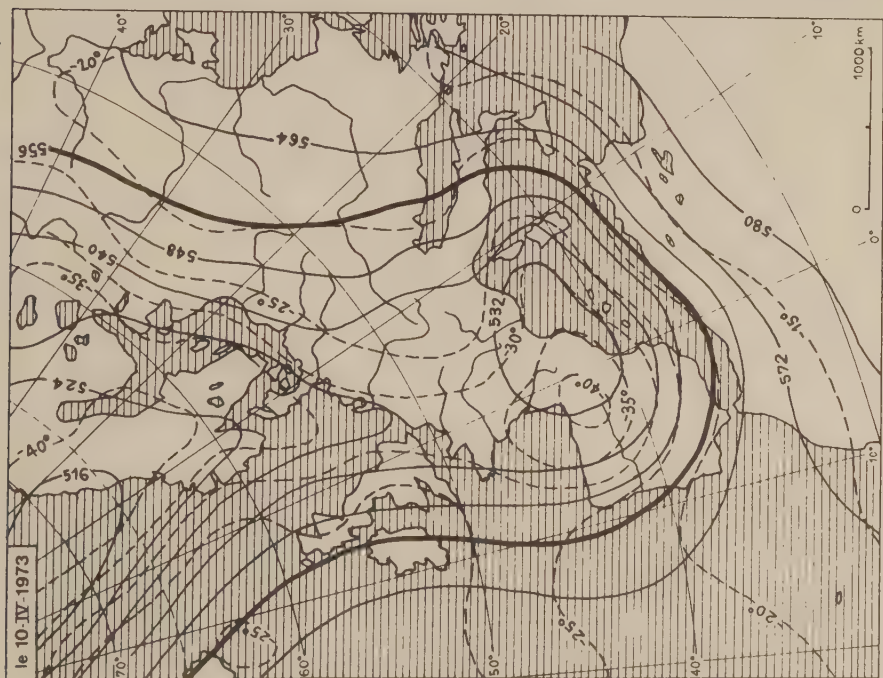


SURFACE 500 mb A 0h TU

SITUATION GÉNÉRALE A 6h TU

Fig. 11-7 A et B : CLASSE 9 .





SURFACE 500 mb à 0 h TU

SITUATION GÉNÉRALE à 6 h TU

Fig. 11-8 A et B: CLASSE 10.

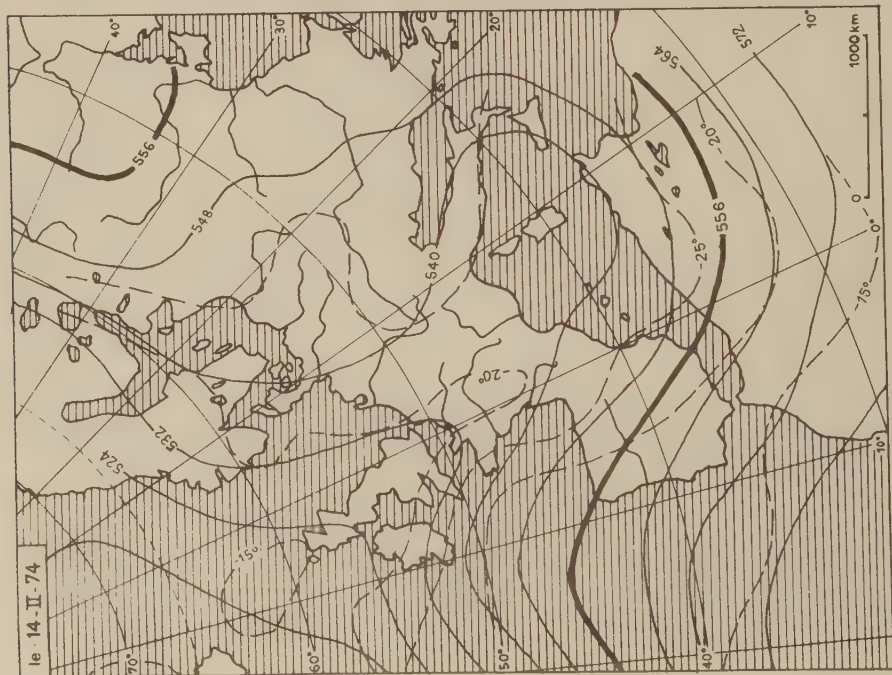
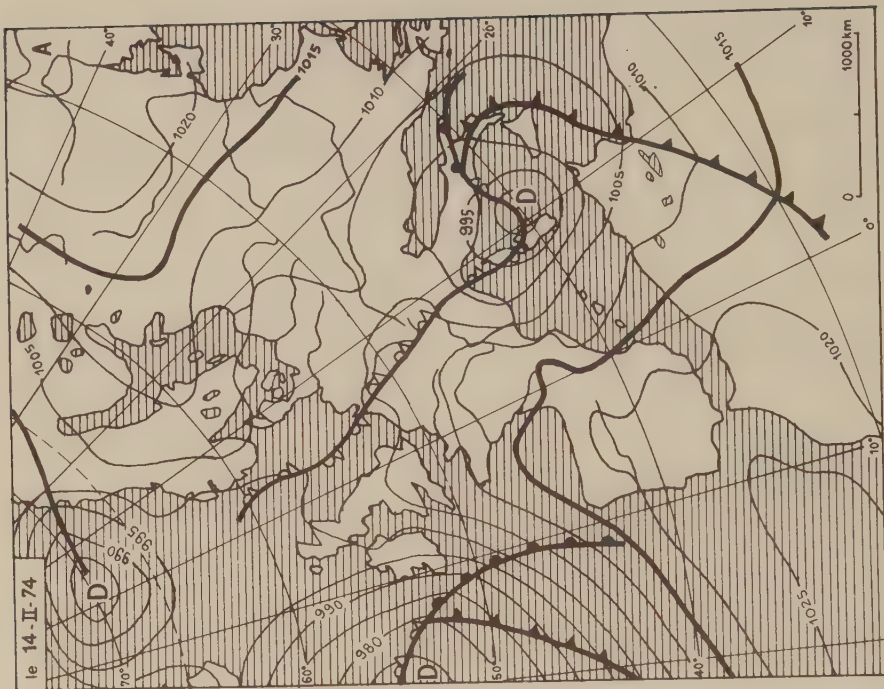


Fig. 11-9 A et B : CLASSE 10.

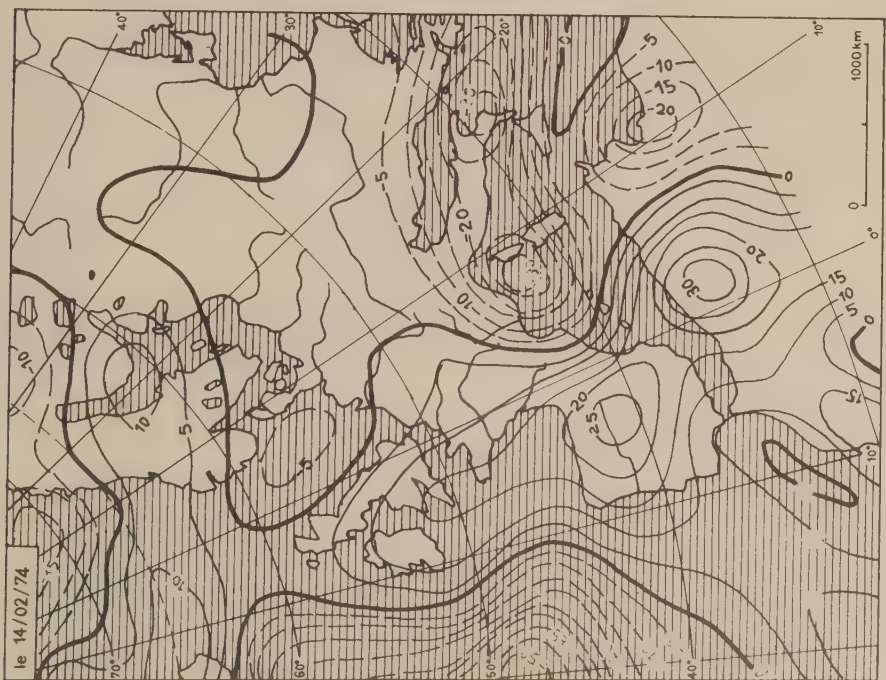


Fig.11-9 C : VITESSE VERTICALE 800 mb.

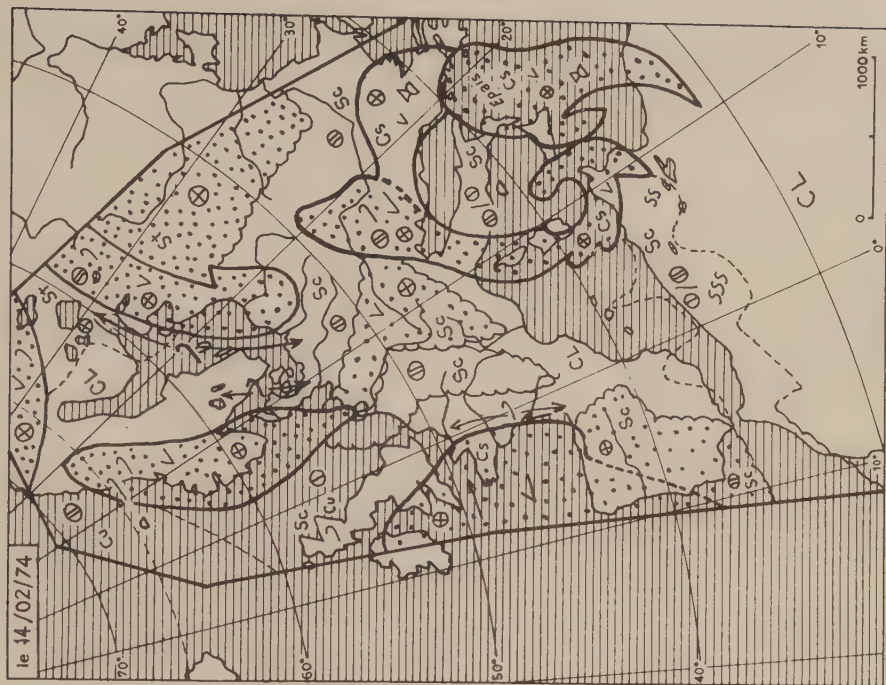
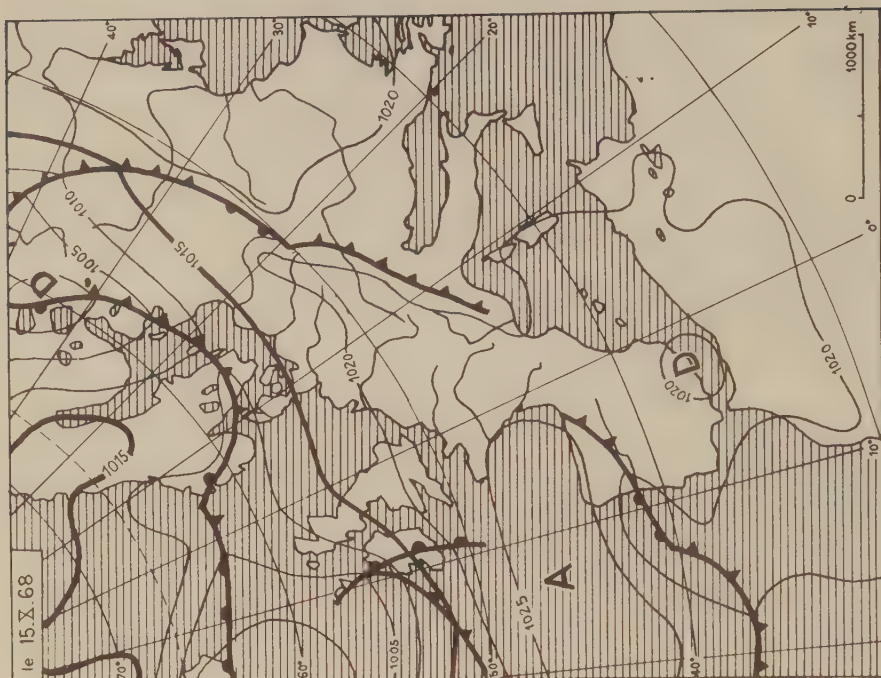
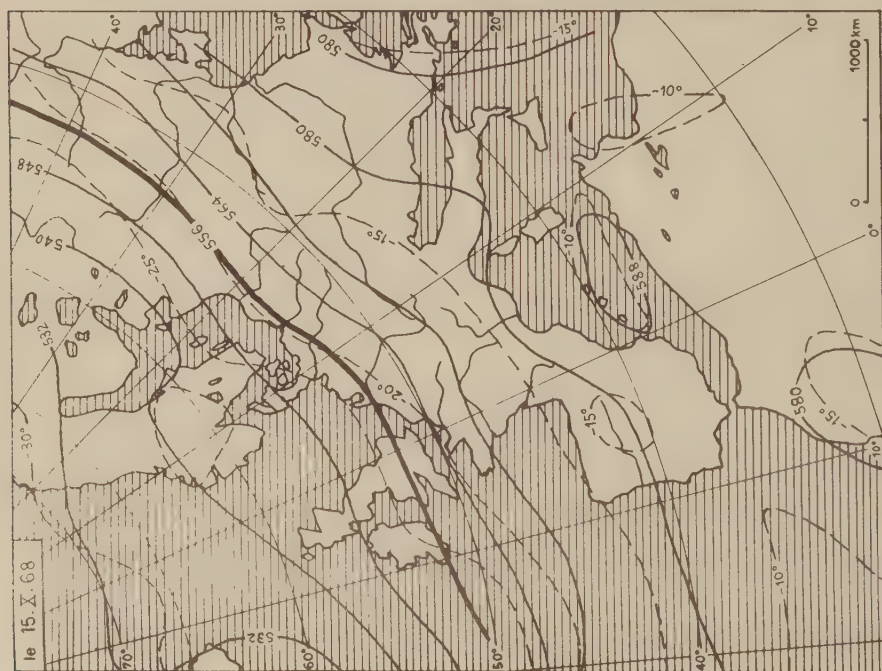


Fig. 11-9 D : CLASSE 10.

a



SITUATION GÉNÉRALE A 6hTU



SURFACE 500 mb A O h TU

Fig. 11-10 A et B: CLASSE 11.

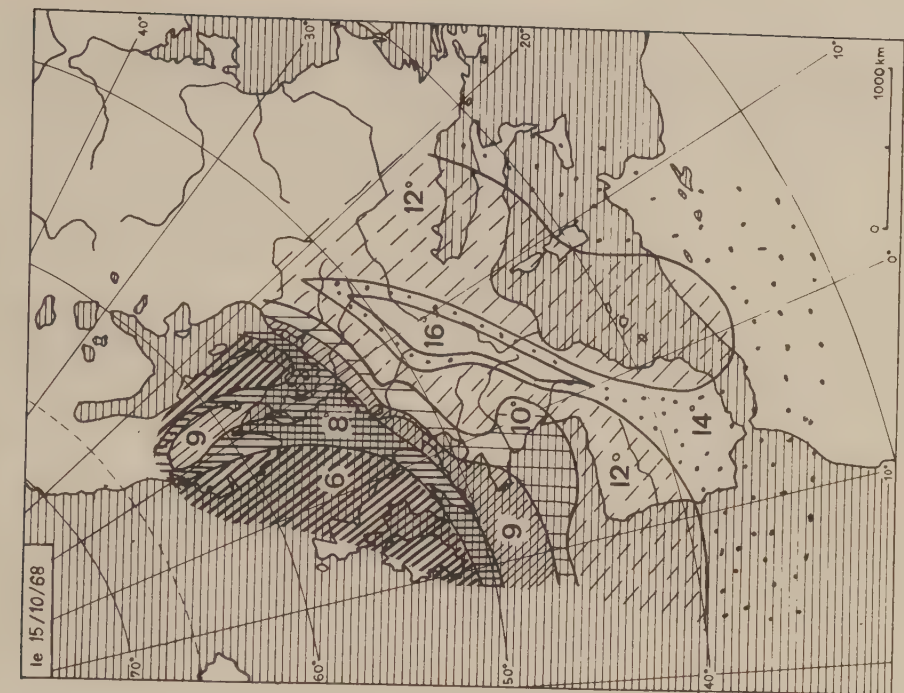


Fig. 11-10 C : 6' W 800 mb.

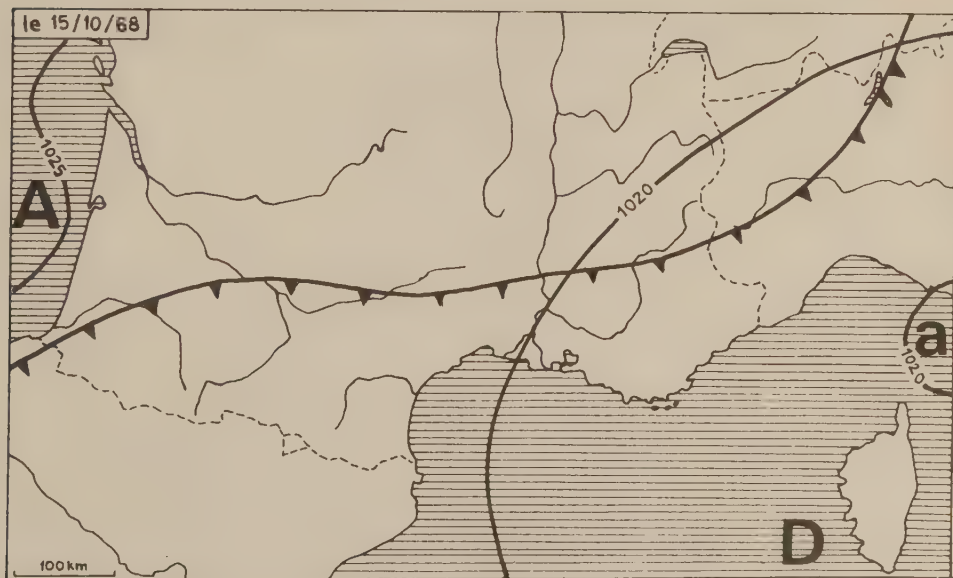


Fig. 11-10 D : MESOANALYSE.

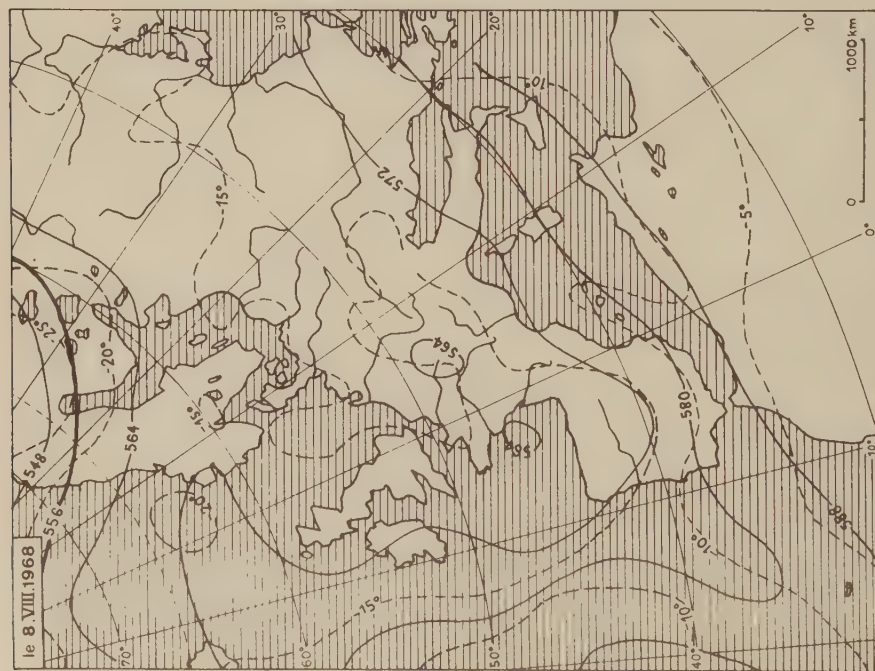
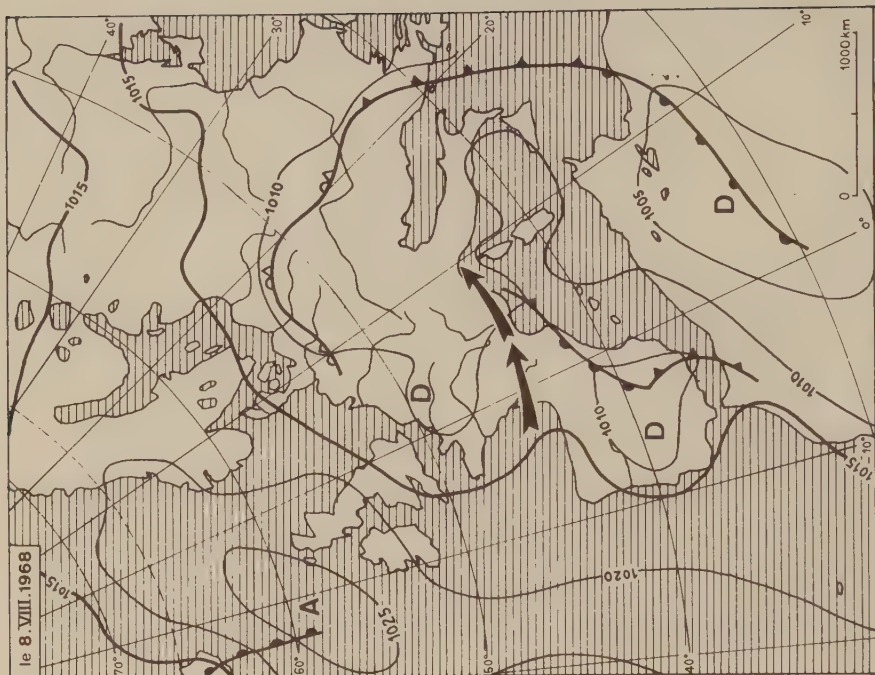


Fig. 11-11 A et B : CLASSE 11.

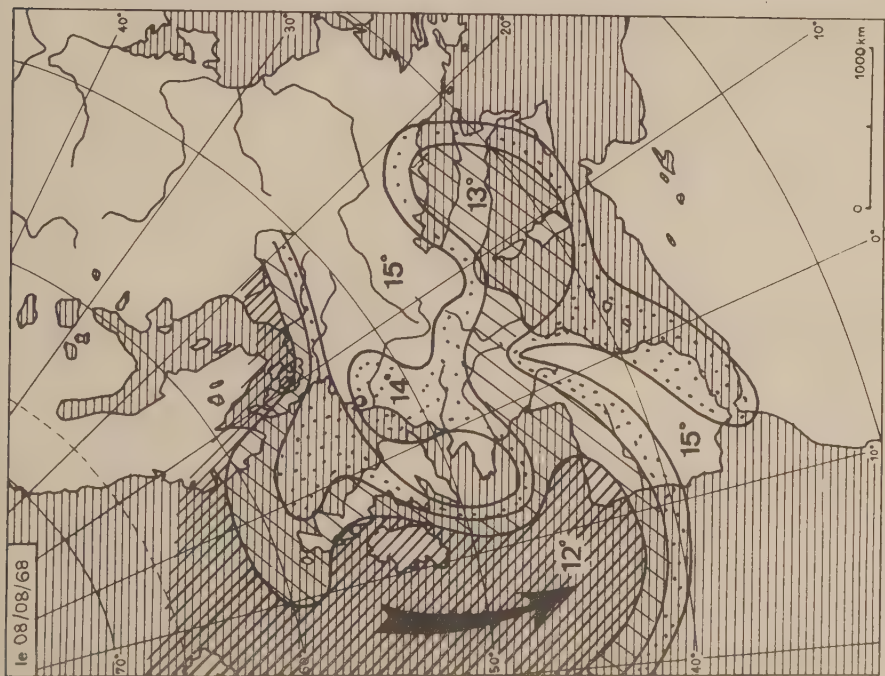


Fig. 11-11 C: 8°W 700 mb.

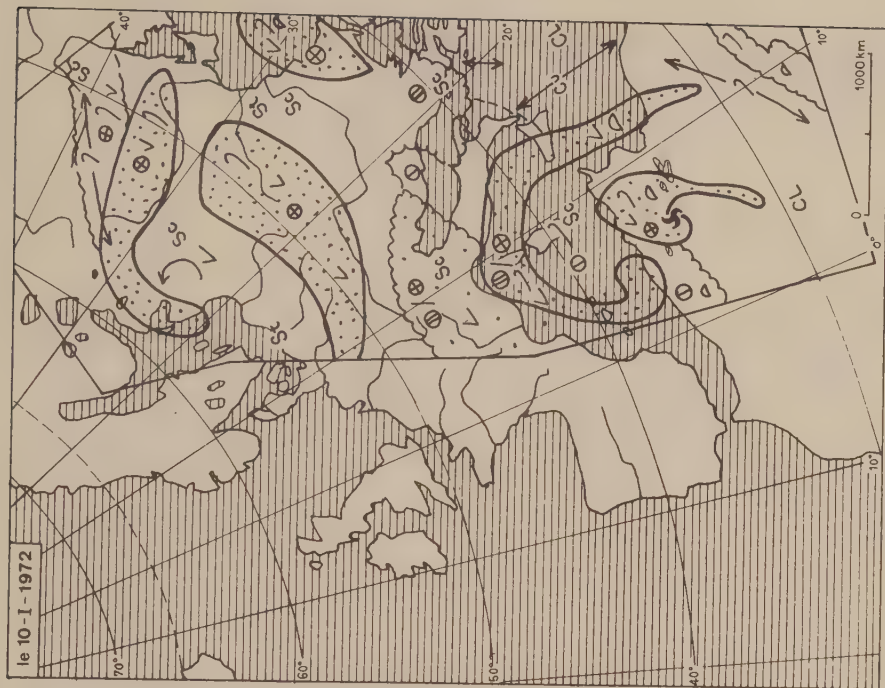
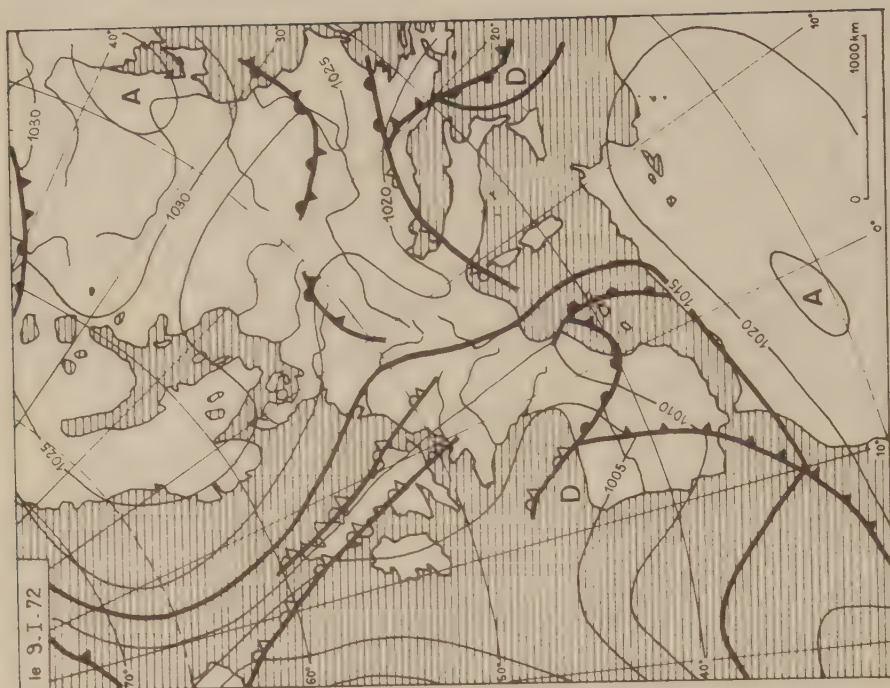
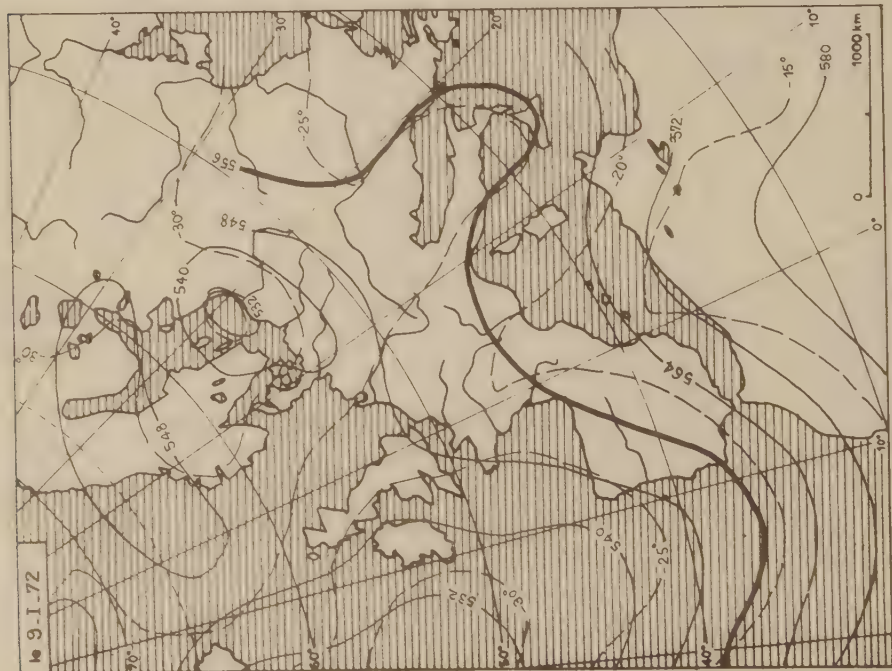


Fig. 11-12 C: CLASSE 11.



SITUATION GÉNÉRALE A 6 h TU



SURFACE 500 mb A 0 h TU

Fig. 11-12 A et B : CLASSE 11.

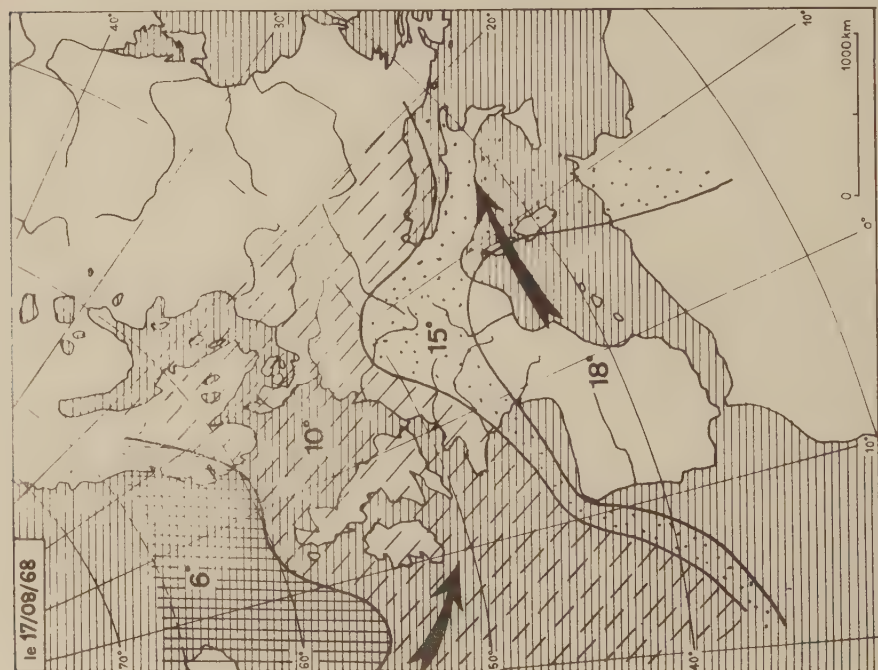


Fig. 11-13 C: 6'W 700 mb.

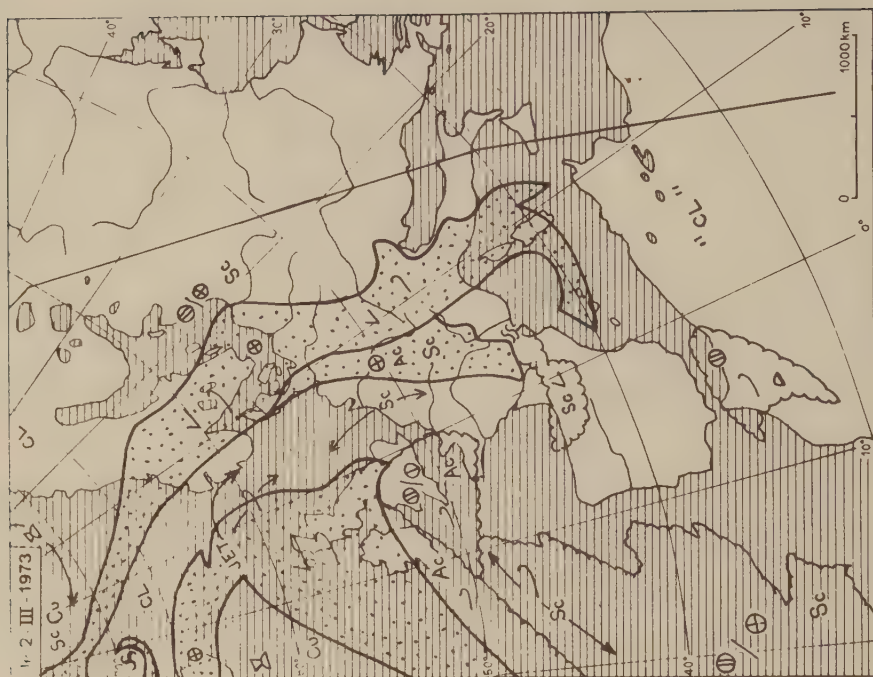


Fig. 11-14 C: CLASSE 12.

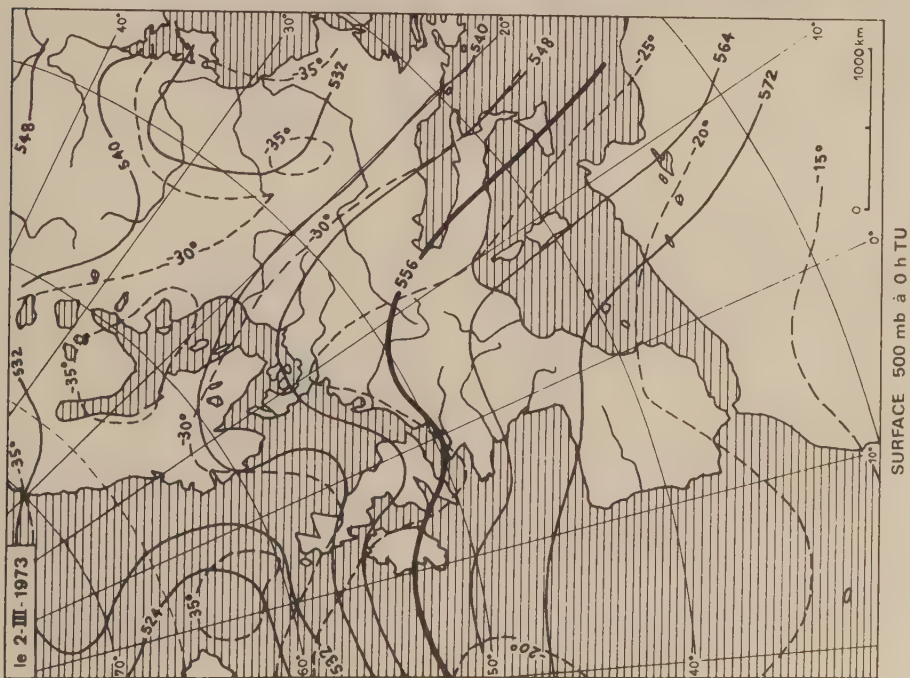


Fig. 11-14 A et B : CLASSE 12.

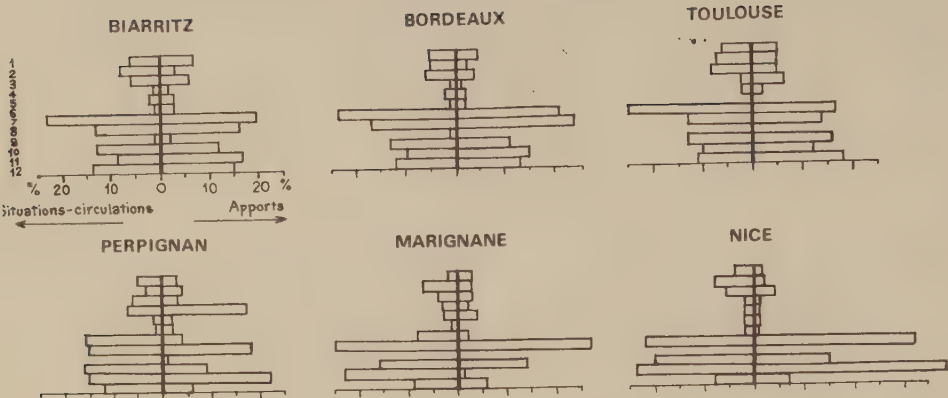


Fig.12-2 : FRÉQUENCES ANNUELLES DES TYPES DE SITUATIONS-CIRCULATIONS ET DES APPORTS CORRESPONDANTS.

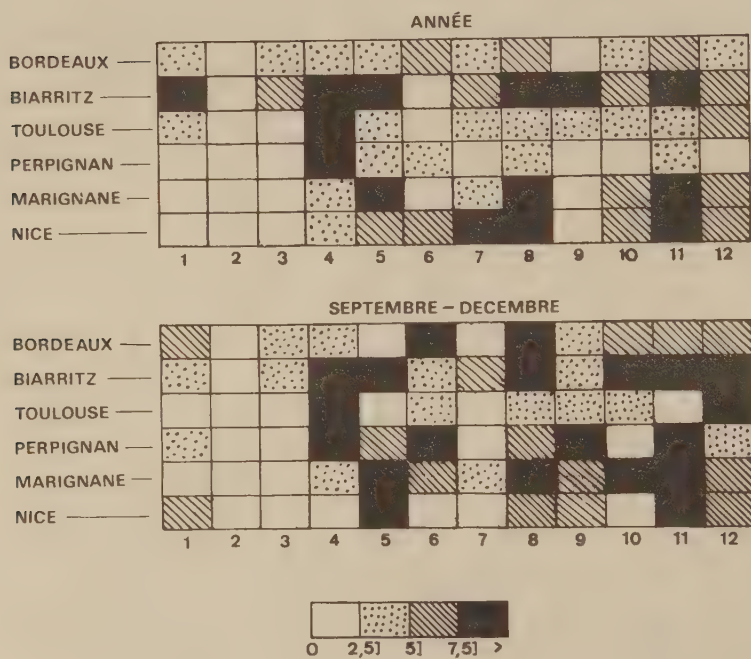


Fig.12-3: INTENSITÉS CLASSÉES DANS LES SIX STATIONS (ANNÉE ET SAISON DES PLUIES MAXIMA).

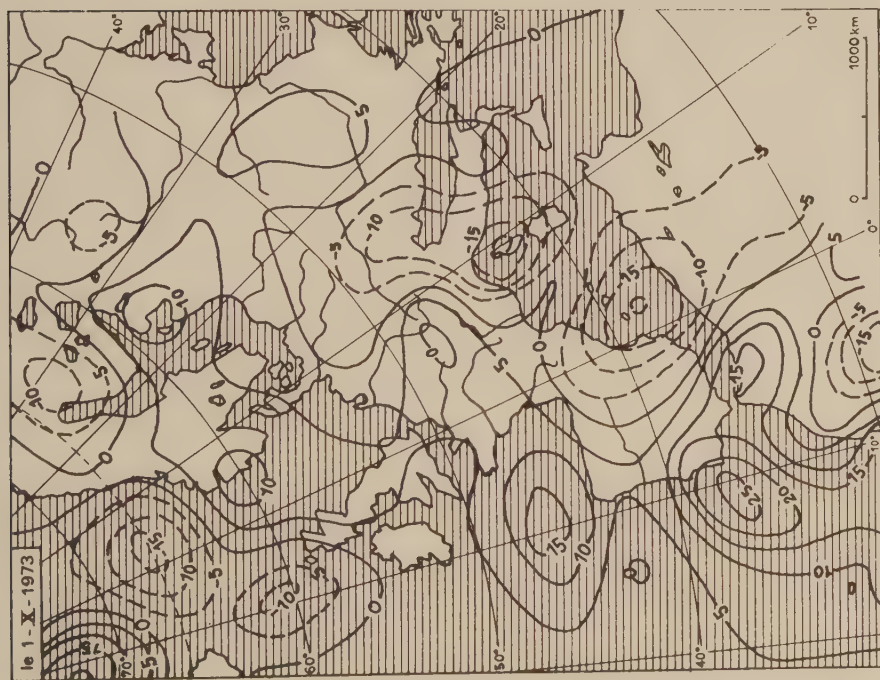


Fig. 13-1: CARTE DES VITESSES VERTICALES 800 mb (1.10-1973).

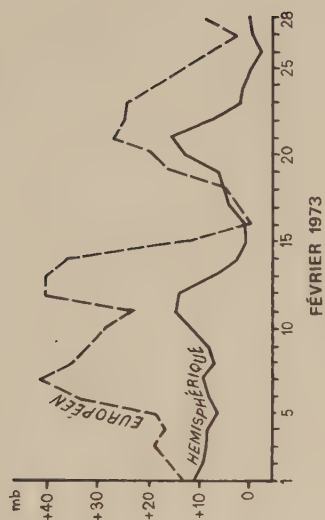


Fig.13-2: NOTICE DE CIRCULATION ZONALE MENSUELLE.

